

野川・仙川の浄化処理のための 調査実験研究

——野川における自浄作用と藻類生産力——

1979年

鈴木基之

東京大学生産技術研究所助教授

目 次

第1章	緒言および調査・実験研究の概要	1
第2章	野川の有機汚染の観測	2
第3章	野川における自浄作用の推定	9
第4章	野川水質サンプルの藻類生産力	19
第5章	野川の藻類生産力に与える処理の効果	25
第6章	野川最下流における24時間観測の結果の考察を中心として	31
第7章	野川の自浄作用と藻類の挙動	39

第1章 緒言および調査・実験研究の概要

1. 緒言

都市の内部及び近郊を流れる河川が、我々の生活において占める役割は意識するとせざるに拘らず真に大きいものがある。特に近年「親水機能」として指摘される河川の働きは、住民に身近かな形で、水及びそれを取り巻く自然環境、空間を提供するものでなくてはならず、次の世代を生きる子供達の水遊び、大人達の思索、憩いの場所となるものでなければならぬと言えよう。そして往々にして看過される河川の「非常時用水」としての機能は、都市文明に依存した我々の生活があまりに複雑化しているため大地震、大火災の例を引く迄もなく、災害の時に都市機能が回復する迄は周辺住民に短期間にせよ用水を提供出来るものである必要がある事を意味している。

然し乍ら、多摩川の大部分、そしてその支流の殆んどは、これらの機能を期待するには程遠いほど汚濁しているのが現状となっており、この状況は早急に解決への努力が始められなければならない。

我々はこの観点から、水質に関して問題の実質的な中味は何であるかを明らかにし、そして我々の出来る事、すべき事は何であるかを見極めたいという目的のもとに、主題の研究に取り組み初めた訳であった。

野川を対象として選んだのは多摩川に対する予備的調査から、野川が汚染負荷として多摩川に与える影響が大きいことが判明したことと、野川自身が、先土器時代には、人類の棲息に重要な役割を果たした清澄な川であり、また近年、急激なる流域人口の増加を見たという意味で、バランスがくずれた小河川の代表的性格を見せている点が興味深い面を有しているからである。

この報告は、研究が発展的に継続され未だ完了とは言える時期ではないにせよ、研究の進展に対して、助成金を頂いた“とうきゅう環境浄化財団”(52.53年度)に対する報告として、その期間の成果発表物を並べたに過ぎぬものであり、現在はこの期間に明らかとなった大きな問題の一つとして有機態窒素の挙動、河川中の窒素の移動過程と変化が、二次的な汚濁にどう寄与するか等のテーマに取り組んでいる。お読み頂く方々よりの御批判、御検討は私共の歓迎するところであります。

2. 調査・実験研究の概要

この期間の研究の進展は以下のように集約することが出来る。

- (1) 野川の汚染の全体像の把握……流域にわたる有機汚染の観測、第2章
- (2) 流域における物質収支、自浄作用の概略推定……流域における観測と台風後の河口継続観測、第3章
- (3) 藻類の働きによる水質浄化の評価……野川水サンプルの藻類生産力の推定、第4章
- (4) 水質浄化による藻類生産力の低減化の試み……既存処理方法の比較、第5章
- (5) 野川水質の日中の変動測定による正確な負荷量の評価……第6章
- (6) 藻類の生成を考慮した炭素、窒素の収支の推定……第7章

鈴木基之 川島博之 河添邦太郎

はじめに

前報¹⁾においては河川水中の主として全有機炭素(TOC)および硝酸イオンの一つの示標である210 nmの紫外線吸光度(E_{210})の相関をもとに、多摩川流域の水を三つの類型に分類できること、また支流の本流に対する影響等について報告した。その結果多摩川本流の下流部における有機汚染に対し支流の一つである野川が汚染物質源として重要な役割を果たしていることが明らかになった。野川は日流量+数万tonの小河川であるが、都市近郊を流れることから生活排水を多量に集め、下水路としての機能を負わされている。しかしながら、これら河川は生活圏内を流れ、地域住民、児童等の生活の場に占める意味は大きい。このため、これらの都市小河川の浄化を考えることは、本流や下流で流れ込む沿岸海域の浄化を考える上で重要であるばかりでなく、市民の身近な生活の場を改善する意味でそれ自体有用である。

本報においては、流域面積70km²(推定)、流域人口50万人(推定)、国分寺に端を発し、調布、狛江、世田谷区を流れ二子橋で多摩川にそそぐ全長約18km、河幅約10mの野川を対象とし、その浄化のための方策を考えることを最終目標としつつ、その第一段階として先ず河川の全貌を明らかにする目的で行なった観測の結果について報告する。

野川における有機汚染の観測

野川の水質の観測は昭和52年4月19日(晴れ一時曇)に行なったもので、その結果を一括して表1に示す。調査点は図1(斜線で囲んだ部分を流域面積と考えた)に示す。測定は、気温、水温、河幅、深さ、流速、pH、DO(溶存酸素)、TOC(全有機炭素)、IC(無機炭素)、SS(1以上懸濁物)電気伝導度、紫外線吸光度(E_{210})、ORP、濁度、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、BODの各項目について行なった。

各測定項目のうち、TOC、IC、SS、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} は研究室に持ち返った試料水について測定し、それ以外は現場測定によった。またBODは現場より試料水を水で冷却して持ち帰り、翌日より東亜BOD自動測定器R6にて測定した。今回新たに増した、 NH_4^+ はインドフェノール法²⁾により測定し、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} は海洋観測指針(気象庁編)³⁾の方法によった。それ以外の項目は前報¹⁾と同様の機器によった。

表1 野川水質調査結果の例

St	名称	採取時刻	河幅	最大水深	流速	流量	気温	水温	DO	pH	ORP	電導度	濁度	SS
1	国分寺	PM 1:55~	m	m	m/sec	m ³ /hr	°C	°C	mg/L		mV	U _{cd} ×10 ²	mg/L	mg/L
2	小金井新橋	2:44~	6.1	0.25	0.55	1,900	19.5	18.8	2.7	7.3	240	8.7	135	104.5
3	天文台下	3:25~	7.5	0.13	0.59	2,300	21.4	20.3	3.4	8.0	95	9.0	55	56.7
4	野川大橋	4:15~	5.6	0.20	0.85	2,800	21.0	20.8	1.5	7.8	160	11.0	32	28.0
5	野川仙川合流点前	5:18~	14.5	0.20	0.65	2,900	16.0	18.0	2.0	7.9	150	9.1	38	45.3
5'	仙川	5:18~	15.7	0.04	0.48	1,600	16.0	16.5	4.6	8.1	110	8.9	42	34.0
6	最下流	6:00~	13.0	0.45	0.68	4,500	14.5	17.8	3.2	8.0	120	9.5	36	12.0
St	名称	採取時刻	IC	TOC	BOD	BOD _{過水}	E ₂₁₀	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻	備考		
1	国分寺	PM 1:55~	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	泡立ち スライム多し		
2	小金井新橋	2:44~	27.2	13.9	39.3	0	0.85	13.2	0.5	tr	1.02	水色 茶色		
3	天文台下	3:25~	26.6	11.5	20.6	10.2	1.36	6.2	0.3	0.9	2.76	大フロック、藻が多い		
4	野川大橋	4:15~	27.1	11.3	-	-	1.40	11.4	0.7	1.0	0.64	藻多し		
5	野川仙川合流点前	5:18~	29.2	10.2	22.0	7.6	1.10	7.2	0.3	0.3	3.08	懸濁物多し		
5'	仙川	5:18~	28.9	10.5	23.7	2.8	1.99	13.7	1.0	1.9	0.71	支流		
6	最下流	6:00~	28.5	11.8	14.0	3.4	1.35	10.7	0.4	0.5	3.05	メタン発酵あり		

流速・流量及び概観

河川中の数点で流速と深さを測り、その結果より求めた平均流速と流量を図2(a)、図2(b)に示す。また平均流速と流下距離から算出したみかけ流下時間を図2(c)に示す。流速は中流域(St. 3, St. 4)でやや速い傾向を示すが、全流域を通じてほぼ0.5m/secで流下していると考えて良からう。この値は前報¹⁾で述べた多摩川本流の平均流速2Km/hrとほぼ同じである。流下時間は野川の発生源(日立中央研究所内の池)から二子玉川での多摩川との合流地点まで約10時間であった。

また流量は最上流で1000 ton/dayであったものが、流下するに従って湧水および生活排水を集めて漸次増加し、仙川との合流点直前では67000/dayとなり、これに仙川との流量38000/dayが加わり、多摩川との合流点直前では約11万 ton/dayとなっていた。

野川は全流域にわたり住宅密集地域を流下し、河幅は数mその水深は0.1~0.2mであり、その変化を表1に示す。また底面、側面共にコンクリートにより護岸されている部分が多く、底には上流域でスライム(sphaerotilus)、中下流域では緑色の藻が多数付着していた。

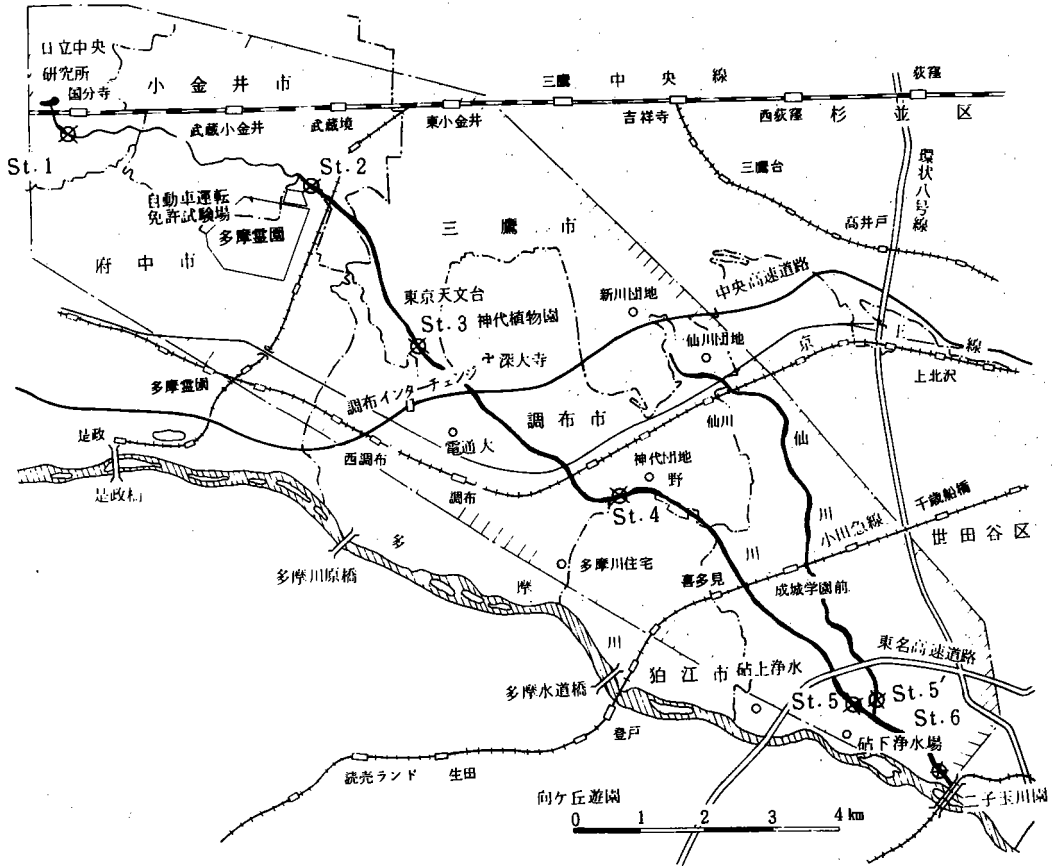


図1 野川流域と観測地点

DO, pH, IC, TOC の分布

DO, pHの変化を図3に、またIC, TOCの変化を図4に示す。DOはSt. 2以降3.5 ppm以下と低い値を示し、このことは有機物の生物酸化により酸素が消費されているためと考えられる。pHが7.3～8.1とアルカリ性の値を示したことは、前報¹⁾で述べたように植物の光合成によるものと思われる。

ICは全流域で高い値を観測したが、流下するに従って濃度が増加する傾向が見られた。TOCは汚染水域における値としては、やや低めの値を示し、流下するに従って濃度が減少する傾向を見せた。

以上のことから、野川においては微生物による有機物質の酸化分解作用と、底質付着の藻類による光合成が活発に行なわれていることが類推された。この活動の強さを定量的に把握することは今後の課題である。

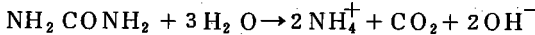
濃度と流量より算出したTOCの負荷量の変化を図5(点線)に示す。この図よりTOCの負荷量は、St. 1からSt. 2の間で急速に増加し、それ以後は仙川との合流地点まで約0.72 ton/dayと一定であり、多

摩川へは仙川の負荷量 0.38 ton/day と合わせて、約 1.2 ton/day の TOC 負荷を与えていることがわかる。ここでいう負荷量は測定時の瞬時値に基づいている。中流域 St. 2 から St. 5 までの負荷量があまり増加しないことが、自浄作用によるものか、この流域での負荷量が少ないことによるものか、あるいは TOC が何らかの機構により SS に凝集することを示唆するものであるかについては、目下検討中である。

栄養塩類について

栄養塩を代表するものとして、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} を選び測定した。その濃度の変化を図 6 に示す。また $\text{NH}_4 - \text{N}$ と total - N (NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- の総和としての N) の負荷量の変化を図 5 (実線) に示す。

野川における窒素は、その大部分がアンモニア態窒素として存在している。人間の排泄する窒素量は尿素として 1 日 25 g ~ 35 g が主なものであり、この尿素は好気性生物と嫌気性生物のどちらによっても生産される酵素ウレアーゼによりアンモニアに分解される。⁴⁾



この反応が 100% 行なわれていると仮定すると、人間一人の一日の窒素の排出量は NH_3 にして約 17 g である。これより流域人口 50 万人の与える窒素負荷は 8.5 ton/day となる。野川、仙川の合流部では NH_4^+ 態の負荷 1.2 ton/day はほぼこの $\frac{1}{7}$ に相当している。尿素から NH_3 への反応が 100% 完了していると仮定したことや、後に述べるアンモニアの大気放散または生物作用による固定によって、アンモニアが減少する可能性を考えると、この程度の差異は十分に予期できたものである。

また NH_3 の負荷量の減少は図 5 よりわかるように、St. 2 から St. 3、St. 4 から St. 5 の間で測定誤差以上のものがあつた。この減少の原因前に述べたように二つを考慮することができる。一つは前報¹⁾で述べたように、底質付着の藻が栄養塩として増殖に用いた場合であり、もう一つはストリップング作用により空中に放散する場合である。西村ら⁵⁾ は人工のビールの池から NH_3 が放散することを実験により明らかにしているが、野川においても同様のことが生じている可能性がある。St. 2 から St. 3 の間について NH_3 の減少を全て放散によると仮定し、水面の全面積を用い平均的な放散速度を試算すると 16 g/day m^2 、同様に St. 4 から St. 5 の間では 6.9 g/day m^2 であつた。放散が支配的とし、また気相側の物質移動が律速となっていると仮定すると、気液間の NH_3 の平衡定数として 20°C における Henry 定数⁶⁾ E (atm/mole fraction) = 0.484 を用いると総括の物質移動係数としてそれぞれの区間でほぼ 176 m/hr、79 m/hr の値を得る。

NH_3 の空気中の拡散係数はこの温度でほぼ 0.089 m^2/hr であるので、気相側境界膜の厚さとしてそれぞれ 0.5、1.1 mm 程度の値となり大気放散のみによる NH_3 の減少と考えるのは幾分無理があるようにも思われる。St. 2 から St. 3 の間では TOC の上昇が少なく $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の増加、pH の上昇等が顕著であることから硝酸化、光合成細菌による固定等を想定することが必要でありさらに今後の検討を要する。

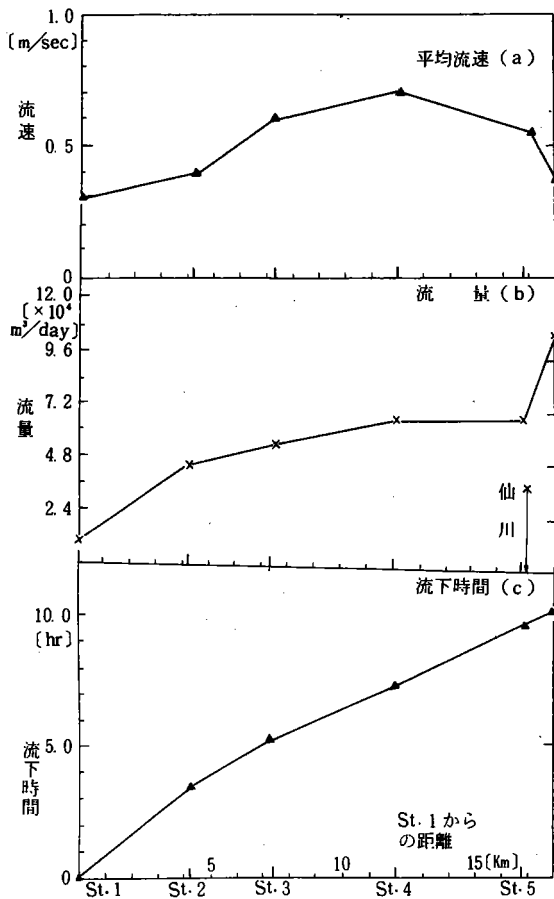


図2 野川の流速、流量と流下時間 (仙川)St. 5'

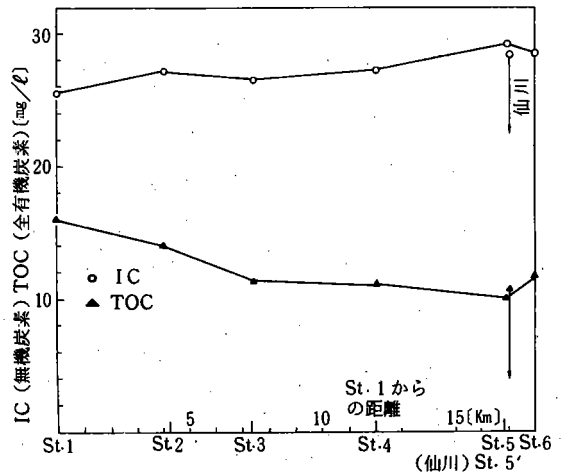


図4 野川におけるICとTOC濃度変化

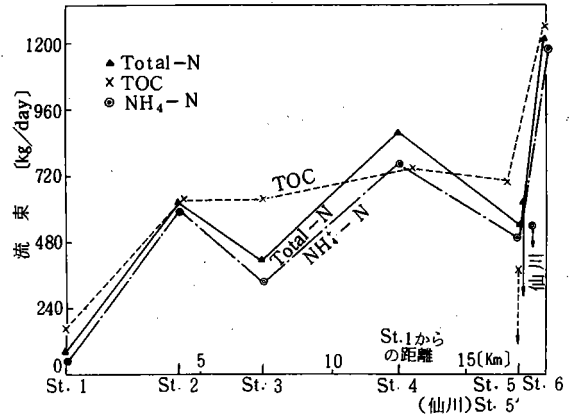


図5 野川におけるTOCと窒素流束変化

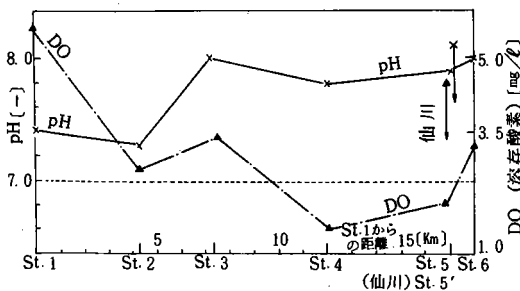


図3 野川におけるDOとpH

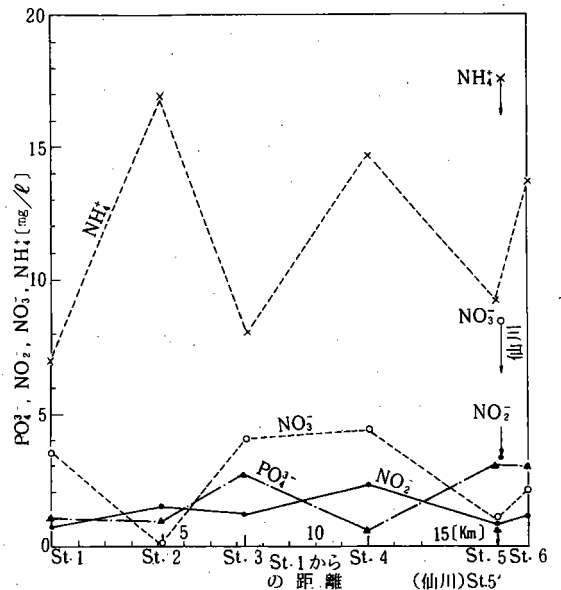


図6 野川における栄養塩類濃度変化

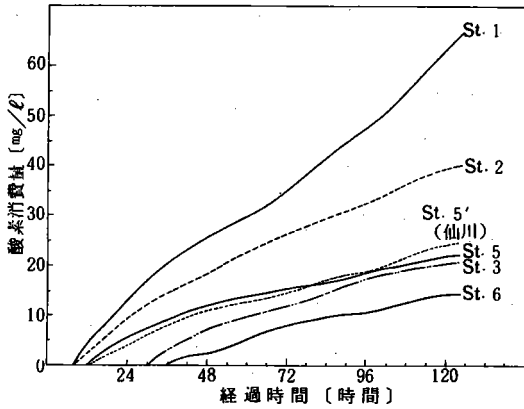


図7 酸素消費量時間変化
(SSを含む採取サンプル)

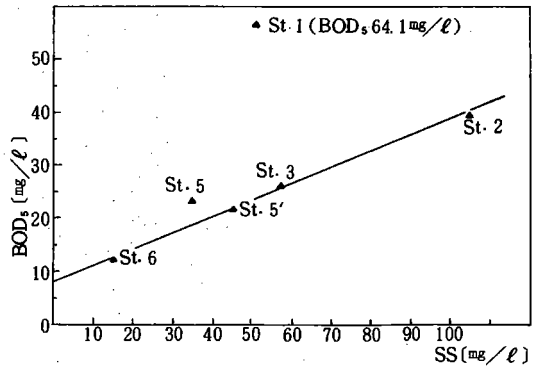


図8 BOD₅とSSの相関図

SSとBODについて

BOD₅は採取したままの水とSSを1 μ GFPメンブレンにより除いたものについて測定した。なお、この測定においては栄養塩類は一切加えず、ただSSを除いた場合には植種のみを行なった。その結果を酸素消費量の変化として図7に示す。またSSとSSを含むBOD₅の相関を図8に示すが、野川においてはSS 10 ppmがBOD₅ 3 ppmに相当すると思われる。このSSが家庭排水から直接に基因するものか、底質付着の藻の剥離したものなのか、あるいは流下中の核となるものに有機物が凝集、吸着することにより生じたものであるかは、不明であるが、野川においてはTOC濃度がそれほど高くないことと考えると、この高濃度のSSを除去することは、野川浄化計画のポイントになると考えられる。

おわりに

以上野川の有機汚染の観測結果について述べてきたが、有機汚染において本質的に重要なことは、溶存有機物の存在の有無ではなく、(1)有機物の分解過程における酸素の消費に伴う溶存酸素の低下が水生生物に悪影響を与えることや、(2)この分解により増加した微生物類が浮遊物となること、(3)さらに有機物が存在しなくても栄養塩が多量に存在することにより光合成の作用で発生する藻類などが水中の濁物や固形浮遊物として寄与し、これらが「汚れた川」のイメージに貢献することである。さらにこのようにして生成した藻類が底に沈澱してヘドロ化することにより川を死滅に追いやることになる。これを防止するためには、有機物そのものの除去とともに、栄養塩を除去することが必要である。後者は従来の水処理では軽視されつづけてきたが、今後多くの場合において解決をせまられる問題である。

本報は、住宅密集地域を流れ、新たな処理場を建設することが困難な中小河川の浄化法についてのその位置付けを明らかにしつつ、浄化するための手法についての研究の第一報であり、さらに必要に応じた観測を継続すると共に、具体的な浄化法についての検討を開始したいと考えている。

本測定を行なうに当りご協力頂いた本研究所第4部鈴木研究室助手茅原一之(観測)、技官藤井隆夫

(観測及び分析)、東京大学大学院生杉谷和俊(観測)の各氏に厚く御礼申し上げます。また本研究は臨時事業の一環として開始されたものであるが、52年度の研究の一部は東急環境浄化財団の援助によることを付記し謝意を表します。(1977年9月24日受理)

参 考 文 献

- 1) 鈴木、川島、河添：生産研究 29 79(1977)
- 2) 公害分析指針、分析化学会編、共立出版(1972)
- 3) 海洋観測指針(気象庁編) 188(1970)
- 4) 水質汚染の化学生態学 PAIRICK, Rら、邦訳鈴木静夫ら、97、東京化学同人(1973)
- 5) 西村ら、柏市を水辺の自然空間のある街にするために(第2次報告) 120(1977)
- 6) 化学工学便覧、第3版 p 461 表 7.2 丸善

第3章 野川における自浄作用の推定

鈴木基之 川島博之 藤井隆夫

東京西南部を流れ多摩川にそそぐ野川に対して、有機汚濁に関する調査・研究を行なった。その結果

- 1) 全長 18Kmの小河川である野川がBODにして約 5 ton/day という大きな自浄能力を有すること。
- 2) 流下時間が約 10 時間と比較的短い河川においても栄養塩 (N, P 類) の存在が有機汚濁に対して非常に大きな働きをしていること。
- 3) 台風による増水で付着性藻類が洗い流され、生物相が一変した野川が約 3 カ月でもとの状態に復することなどが解った。

はじめに

前報¹⁾においては、東京西南部を流れ多摩川にそそぐ野川がどのような汚染状況にあるかについて述べ、それより野川を浄化するにはSS (1 μ 以上の懸濁物) と栄養塩をとり除くことが重要なポイントとなることを報告した。本報においてはそれ以後に行なった観測の結果を報告するとともに、汚濁物質や栄養塩が野川においてどのような挙動をとるかについて、より精細な検討を加えてみたい。そのなかでも特に野川の自浄能力を明確に把握することは、野川の具体的浄化プランを考える上で第1段階になると考えられる。野川がどれだけの自浄能力、またどのような自浄機構を持つか、この点が明確になれば我々は望ましい環境を達成するにはどれだけ負荷を軽減すべきであるか、また自浄能力を高めるためにはどのような処置をとるべきであろうかを知り得、そのための具体的かつ最適な方法をも考えることができるであろう。

観測

前報¹⁾で報告した観測以後2種類の観測を行なった。

(I)まず前報と同様の流域にそった観測であり、これを昭和52年10月17日(曇)、12月8日(晴)の2回にわたって行なった。この観測における調査地点は、新たに2地点を追加したほかはほぼ前回の観測と同様であり、新たにABSの測定(ジクロロエタン抽出紫外吸収²⁾法による)を加えた。

(II)もう一種の観測は、台風(昭和52年9月19日に関東地方に大雨を降らせた台風11号、東京の降水量は降り始めから106mm)による増水の後の水量の時間変動を追ったものである。この観測は9月20日以後定点(St.8 多摩川との合流点直前)で午前9時前後に、初期3日間は毎日、その後は1日~3日おきに、10日17日以後は約1週間おきにサンプリングを行ない、試料水を研究室にもちかえり迅速に分析を行なったものである。この観測では測定は、210nmにおける紫外線吸光度(E_{210})、SS(1以上懸濁物)、TOC(全有機炭素)、IC(無機炭素)の各項目について行なった。

両観測を通じ用いた機器と方法は、前報と同様である。

結 果

(I) 流域における観測

流量より算出した流量の変化を図2に示す。前回の調査(4/19)に比して明らかに流量の増加が見られ、9月19日の台風による降雨に伴い、水量の増加が顕著に現れているものと思われる。各点の試水に対するTOC(全有機炭素)の濃度変化及び図2の流量を用いて算出した輸送量(濃度×流量)の変化を図3(a)、(b)に示す。同様にBOD₅(5日間生物化学酸素要求量)、IC(無機炭素)、SS(懸濁物質)、NO₃⁻-N(硝酸態窒素)、PO₄³⁻-P(磷酸態磷)濃度及び輸送量の分布を図4~8に示す。

図9、10は流域でのpH及びDO(溶存酸素)の変化を示す。

全体に10月17日の観測値は台風の影響を受けており、pHの低下、SSの低下、NO₃⁻-Nの上昇が見られた。このことは台風により河底の礫石類に付着した藻類が除去された後に、(Ⅲ)で明らかになるが、それら藻類の回復が十分なされていない時期であったことに対応している。

(Ⅱ) 台風後の継日観測

測定したTOC、IC、SS、NO₃⁻-Nの各濃度変化を図12、14に示す。

台風によって底部に存在していた藻類は見事に除去され、約3日目頃より石の後流部にSphaerotilusの発生を見、約5日目より岩石の表面の一部に緑色の光合成藻類(Oscillatoria)の発生が見られ、1週間後には全表面が緑色となった。

しかし水質の観測からは最初の1カ月は際立った変化は見られず、10月20日頃からICの増加NO₃⁻-Nの減少が見られ、藻類の全流域における活動が水質に影響を開始するにはほぼ1カ月を要することが明らかにされ、さらに定常状態に達するには2~3カ月を要するものと考えられる。

考 察

a) BODに関する自浄作用について

流域にそった全3回の観測におけるBOD₅の測定結果を図4(a)に示す。このBOD₅はSSを含むものについて前報と同様の方法によって求めたものである。また、このBOD₅と流量より求めたBOD₅負荷量(輸送量)を図4(b)に示す。

図4(a)において、3回ともSt.2からSt.3の間でBOD負荷が減少する傾向が見られ、また図10よりわかるようにSt.4ではDO値も若干高くなる傾向で見られる。これは、野川がここで武蔵野公園中を流下するために新たな負荷が加わらず、自浄作用が直接あらわれるために見られる現象と考えられる。

Phelps³⁾以来自浄作用を記述する式として $C_t = C_0 10^{-kt}$ [(C_t, C₀はBOD濃度(mg/l)、tは時間(day)、kは自浄係数(1/day)]式が用いられ、いろいろな河川についてkが測定されている。

10月17日、12月8日の両観測を通じて、比較的流量の変化の少なかったSt.2からSt.3の間で

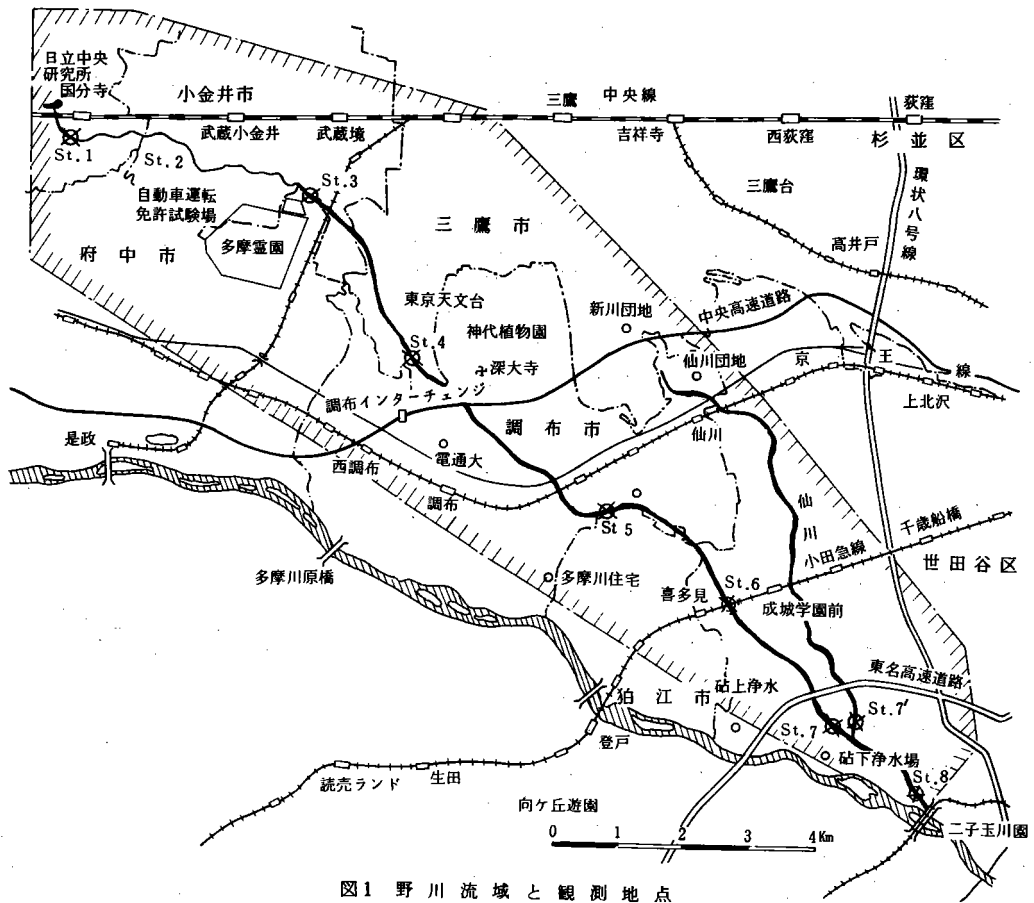


図1 野川流域と観測地点

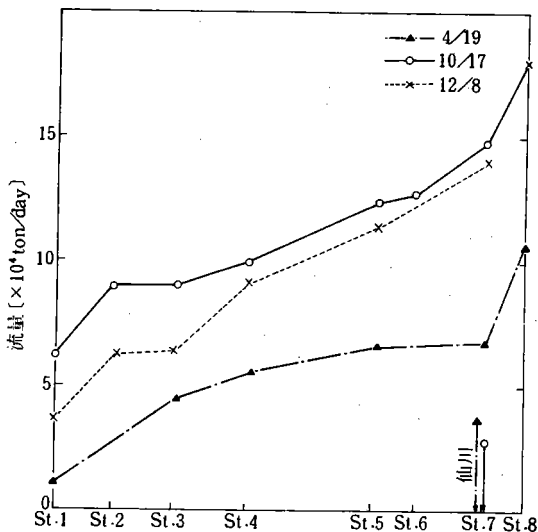


図2 野川における流量変化

流下時間を考慮してこの自浄係数を求めると、それぞれ6.0、2.6 (1/day)となる。既応の研究結果は米国Ohio川で0.1、日本の河川でも0.15~1.84程度³⁾でありこの値は非常に大きな値である。この高い値は、住宅密集地を流れる野川が家庭排水より起因する易分解性の汚濁物質を多量に含んでいるため、これが野川の中で分解される可能性を示すとも考えられるが、この作用だけでこのような大きなkの値が観測されることは考えにくく、BODとなる物質が底泥に沈降する可能性も考えなければならないのであろう。

しかし、BODとなる物質が分解されるにしろ沈降するにしろ輸送量の変化から計算すると、

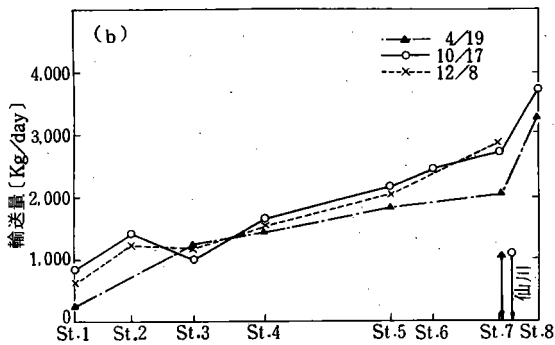
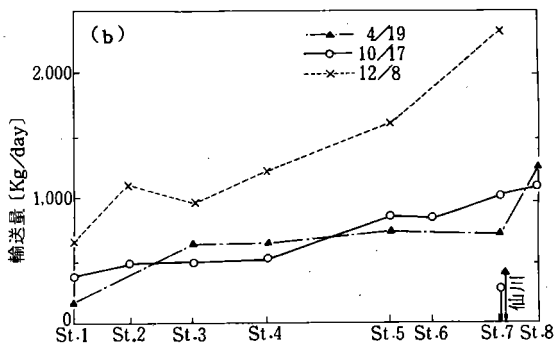
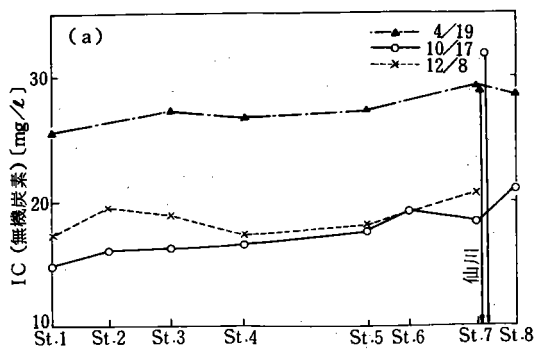
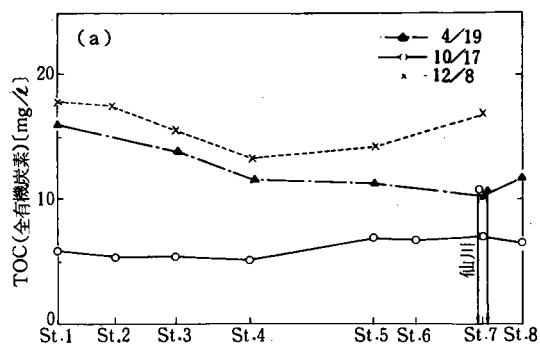


図3 野川における TOC 濃度(a)と TOC 輸送量変化(b)

図5 野川における IC 濃度(a)と IC 輸送量変化(b)

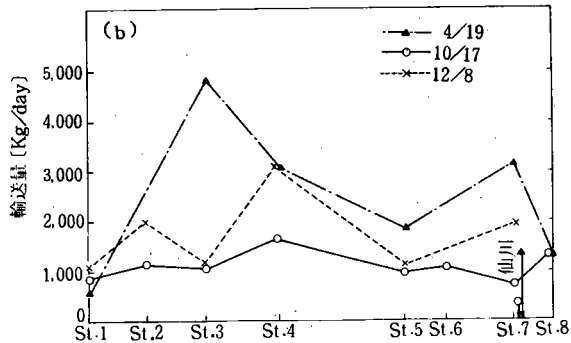
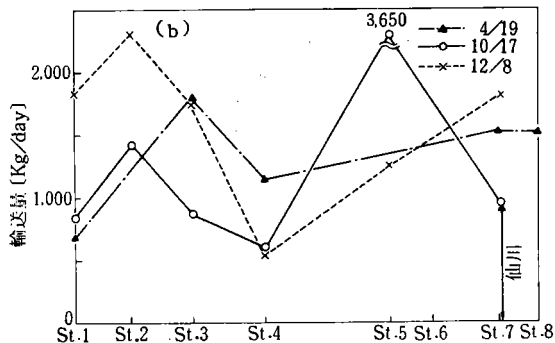
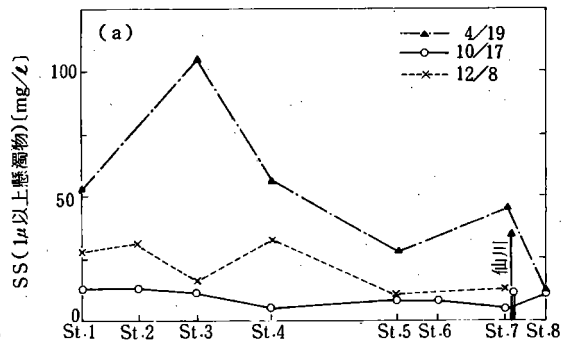
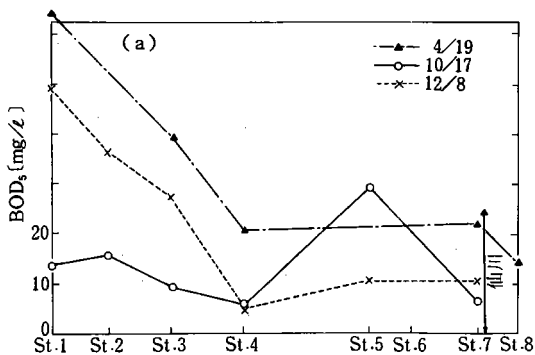


図4 野川における BOD₅(a)と BOD₅ 輸送量変化(b)

図6 野川における SS(a)と SS 輸送量変化(b)

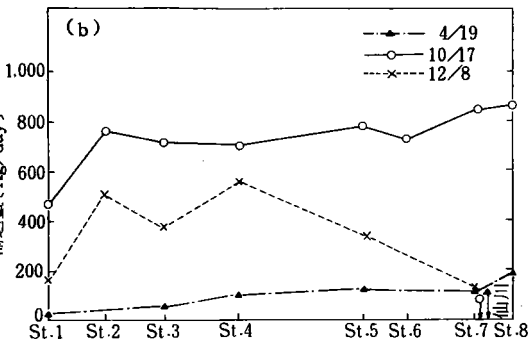
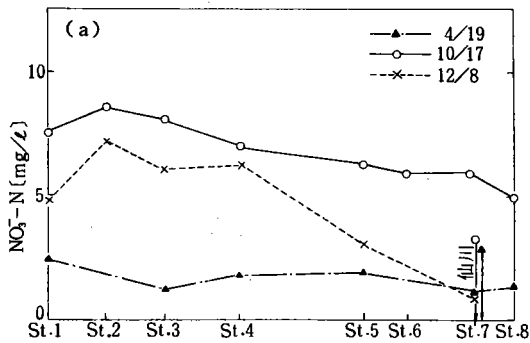


図7 野川における NO_3^- -N 濃度と NO_3^- -N 輸送量変化

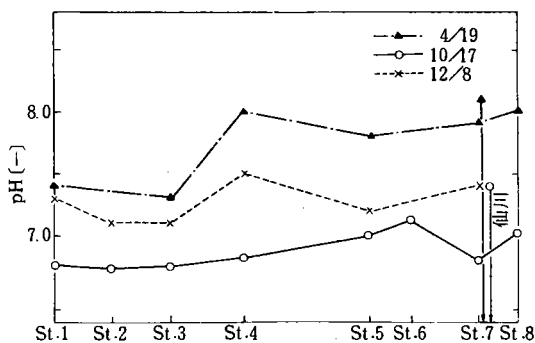


図9 野川における pH 変化

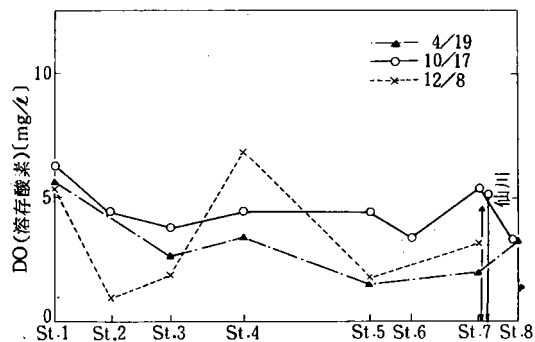


図10 野川における DO 変化

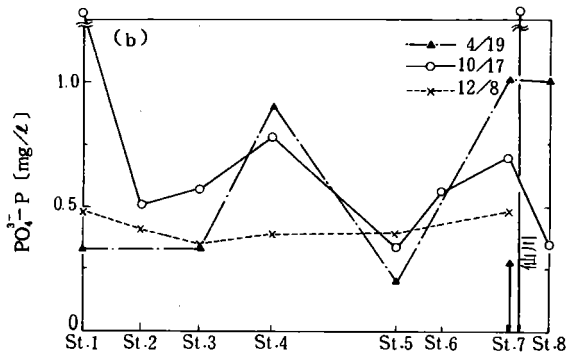
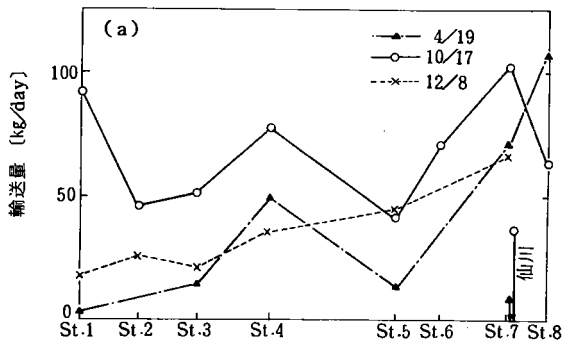


図8 野川における PO_4^{3-} -P 濃度 (a) と PO_4^{3-} -P 輸送量変化 (b)

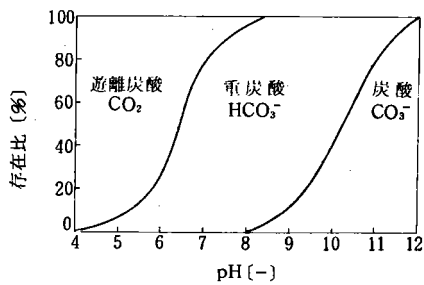


図11 純水の pH と炭酸の状態

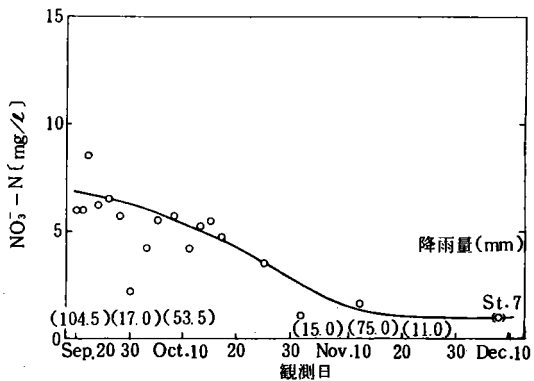


図12 St.8 における NO_3^- -N 濃度変化

野川はBODにして約 $30 \text{ g/m}^2 \text{ day}$ の自浄能力を持ち、野川の川底面積が約 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^2$ であるから川全体ではBODにして約 4 ton/day のBOD除去能力を有することになる。この値は野川河口より計算される多摩川に与えるBOD負荷(約 2 ton/day)の約2倍である。

これより考えると、野川にはBOD負荷 6 ton が1日に流入すると考えられる。流域の人口を前報で述べたように50万人と推定し一人あたりのBOD負荷量を 50 g とすると、全負荷量は 25 ton/day となり野川への流達率は 0.24 程度となると考えられる。この値は東京都下水道局により示される流達率⁴⁾(野川 21.77% (S.50))とよく一致する。

またICより野川の自浄能力を考えることも可能であると思われる。ICとして測定されるものは N_2CO_3 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} の3種と考えられその存在比はpHによって決定される。このうち大気中の CO_2 と平衡関係にあるものは H_2CO_3 である。

pHは野川のような河川では前報で述べたように植物の光合成用によりアルカリ性となっている。図9に示すように、台風による増水で底泥付着の藻が洗い流されていた10月17日の観測ではpHは7前後と低い値を観測したが、12月8日の観測ではpHは全流域を通じ7.4前後まで上昇している、しかし台風による増水の前の4月19日の観測ではpH8前後を観測しており、このことは後に述べられるように底質付着の藻類が完全に回復するには3ヵ月以上かかることを示唆するものと思われる。いずれにせよ、野川のpHが7以上あるということは図11⁵⁾よりわかるように H_2CO_3 の存在割合が非常に少なく、ICの大気との交換も少ないことになる。

以上のような推論により、野川においてはICは比較的良好に保存されていると考えることができる。BODとして酸素を消費する有機物が (HCOH) を一つの単位をしていると仮定すると、有機物の生物分解は次のように表される。 $\text{BOD}_n \text{モル} + n\text{O}_2 = n(\text{HCOH}) + n\text{O}_2 \rightarrow n\text{H}_2\text{O} + n\text{CO}_2$ この時発生した CO_2 が HCO_3^- や CO_3^{2-} となりICとして観測されることが出来るから、IC負荷 1 Kg はそれ以前の流域でBODとして $(32/12) \text{ Kg}$ の自浄作用を受けた結果と考えることができる。

野川のIC負荷量(輸送量)は図5(b)に見られるように、St.7(仙川との合流点直前)で約 20 ton/day であり、このことはSt.7以前の流域でBODにして 5 ton/day 程度の自浄能力があることを示していると考えられ、この値はさほどBODの検討より求めた野川のBOD自浄能力 4.0 ton/day としてはほぼ一致する。

以上のように流下時間が約10時間と短い野川が予想外の大きな自浄能力(野川に流入するBOD負荷の $2/3$ を自浄する)を有することが確認された。

b) $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の挙動について

210 nm における紫外線吸光 (E_{210}) を用いて求めた $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の濃度を図7(a)、図12に示す。図7(a)は3回における各地観測地点の濃度を示したものであり、図12は台風による大雨後の $\text{NO}_3^- - \text{N}$ のSt.8での濃度を経時的に示したものである。

図7(b)は濃度と流量より求めた $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の負荷量(輸送量)の変化をあらわした図である。

図7(a)に示されているように、10月17日と12月8日の観測では非常に高い濃度の $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の値が観測された。これは4月19日に観測した濃度の数倍にわたって 5 mg/l 以上の $\text{NO}_3^- - \text{N}$ が観測されるという異常な状態を示した。

表-1 野川観測結果 (1977年10月17日)

St	名称	採取時間	河幅	最大水深	最大流速	流量	気温	水温	DO	pH	ORP	電導度	濁度	SS
			m	m	m/sec	liton/day	°C	°C	mg/l		mv	$\times 10^3 \mu\text{cm}$	mg/l	mg/l
1	国分寺	AM 11:40~11:55	2.7	3.4	1.1	6.2	17.0	17.0	6.25	6.75	105	4.4	19	18.8
2	貫井南町	12:35~12:50	4.3	0.5	0.95	9.0	18.5	17.5	4.45	6.73	170	6.0	16	13.0
3	武蔵野公園	PM 1:10~ 1:30	5.5	0.45	0.8	9.0	17.5	16.2	3.8	6.75	80	6.0	24	11.6
4	天文台下	2:35~ 2:45	8.7	0.55	0.57	10.0	17.5	17.5	4.45	6.81	140	5.8	8.5	5.0
5	野川大橋	3:13~ 3:25	6.3	0.3	1.1	12.4	17.5	17.2	4.4	7.00	160	8.7	12	7.8
6	成城	3:50~ 4:05	11.5	0.4	0.9	12.7	16.6	17.2	3.4	7.12	38	9.0	15	8.1
7	野川・仙川合流点前	4:15~ 4:40	14.8	0.3	0.8	14.7	17.0	17.0	5.4	6.80	100	7.9	13	4.8
7'	仙川	4:35~ 4:55	16.2	0.2	0.35	2.8	-	18.3	5.25	7.38	85	9.8	31	11.2
8	最下流	5:02~ 5:30	22.2	0.3	0.8	18.0	17.1	17.0	3.05	7.07	95	8.3	16	7.4

St	名称	採取時刻	IC	TOC	BOD	E ₂₁₀	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ⁻ -N	ABS	備考
			mg/l	mg/l	mg/l		mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	
1	国分寺	AM 11:40~11:55	14.9	5.9	13.5	5.2	0.78	-	7.5	1.49	1.04	付着物少ない
2	貫井南町	12:35~12:50	16.0	5.4	15.7	5.1	9.0	-	8.5	0.51	1.82	付着物少ない
3	武蔵野公園	PM 1:10~ 1:30	16.2	5.4	9.7	5.6	1.87	-	8.1	0.57	0.44	河床半分コンクリート
4	天文台下	2:35~ 2:45	16.5	5.1	6.0	4.9	0.62	-	7.0	0.78	1.00	緑色付着藻少量
5	野川大橋	3:13~ 2:25	17.5	6.9	29.4	4.4	1.05	-	6.2	0.34	0.30	付着物なし
6	成城	3:50~ 4:05	19.1	6.7	-	4.2	0.78	-	5.8	0.56	0.54	
7	野川・仙川合流点前	4:15~ 4:40	18.4	7.0	6.5	4.2	1.05	-	5.8	0.70	0.12	
7'	仙川	4:35~ 4:55	31.8	10.2	-	2.0	1.75	-	2.8	1.34	0.54	支流
8	最下流	5:02~ 5:30	21.0	6.4	-	3.6	1.01	-	4.8	0.36	0.07	緑色付着藻少量

* E₂₁₀ より算出

このような異常な値が観測されたことの原因については、次のような構造を考えることができるであろう。すなわち強度に汚染された河川においては、NO₃⁻-NはNH₄⁺-Nが硝酸菌の働きによって酸化されることによって生じる。ここで生じたNO₃⁻-Nは、河川水中の植物やプランクトンが栄養塩として摂取する。強汚染河川水中のNO₃⁻-Nの濃度は主にこの二つの作用によって支配されていると考えることができる。生成と消失のバランスによって濃度が決定されると考えることができる。このように考えれば、野川において10月17日に高濃度のNO₃⁻-Nを観測したことは、台風による増水で洗い流された底泥付着の藻が未だ十分に回復していなかったことによりNO₃⁻-Nの消失速度が減少し、かつNH₄⁺-N→NO₃⁻-Nへの硝酸化の速度は台風の前と変化がないことに基因するものと考えられることができる。

これは図12にも示されている。この図よりわかるように、台風による増水によって底泥付着の藻類が洗い流されてからほぼ2カ月で、野川の出口におけるNO₃⁻-Nの濃度は通常の値1mg/lに回復している。

しかし、12月8日の観測においてはNO₃⁻-Nの濃度が通常の値に回復しているのは下流域だけであり、このことは、河幅も広く、また流速も比較的ゆっくりでかつ浅いために光のよくとどく下流域で最初に藻類が活発となることを示している。実際に12月8日の観測では、St.4、St.5、St.7で緑色の藻が底泥に多数付着していることを確認している。

表-2 野川観測結果(1977年12月8日)

St	名称	採取時刻	河幅	最水深	最大流速	流量	気温	水温	DO	pH	ORP	電導度	濁度	SS
1	国分寺	AM 11:52~12:15	2.7 m	0.5 m	0.75 m/sec	3.7 万ton/day	14.0 °C	15.0 °C	5.2 mg/l	7.3	235 mv	5.0 ×10 ² %cm	50 mg/l	27.7 mg/l
2	貫井南町	12:30~12:48	4.3	0.3	0.90	6.3	15.0	15.5	1.0	7.1	185	8.3	55	31.3
3	武蔵野自然公園	PM 1:04~1:22	6.0	0.3	0.62	6.4	15.0	16.0	1.9	7.1	210	8.0	40	16.7
4	天文台下	1:52~2:13	9.0	0.4	0.85	9.1	15.6	15.8	6.8	7.5	200	7.0	27	33.7
5	野川大橋	2:49~3:10	6.3	0.25	1.07	11.4	13.8	15.8	1.8	7.2	140	7.0	30	10.0
7	野川・仙川合流点前	3:37~4:00	15.0	0.2	0.72	14.0	13.8	15.0	3.2	7.4	120	8.0	45	13.7
St	名称	採取時刻	IC	TOC	BOD	E ₂₁₀	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P	ABS	備考		
1	国分寺	AM 11:52~12:15	17.2 mg/l	17.8 mg/l	49.5 mg/l	3.6	5.5 mg/l	0.45 mg/l	4.8 mg/l	0.49 mg/l	2.0 mg/l	スライム多し		
2	貫井南町	12:30~12:48	19.4	17.5	36.5	5.0	8.4	0.83	7.2	0.41	1.9	水色濁色		
3	野川・仙川合流点前	PM 1:04~1:22	18.9	15.5	27.5	4.3	7.6	0.85	6.0	0.35	1.5	水色濁色		
4	天文台下	1:52~2:13	17.2	13.4	5.8	4.4	6.2	0.57	6.2	0.39	1.1	緑色付着藻少量あり		
5	野川大橋	2:49~3:10	17.8	14.1	11.0	2.5	5.2	0.51	3.0	0.39	1.5	緑色付着藻あり		
7	野川・仙川合流点前	3:37~4:00	20.0	15.9	13.0	1.2	5.1	0.35	0.8	0.48	1.0			

* E₂₁₀より算出

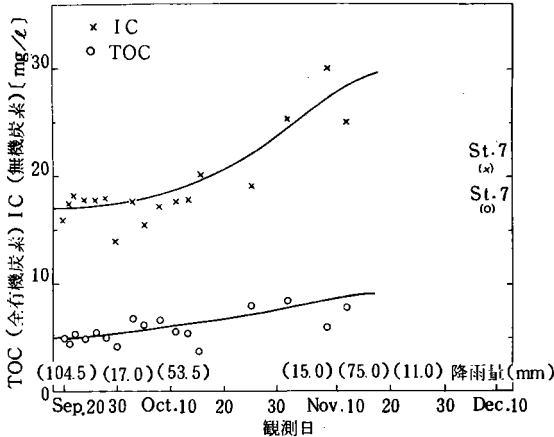


図13 St. 8におけるTOC・IC濃度変化

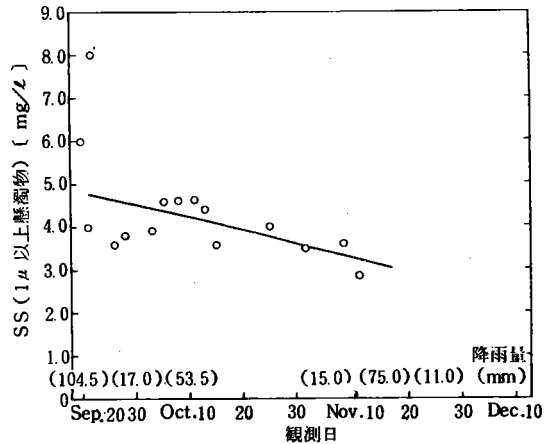


図14 St. 8におけるSS濃度変化

12月8日の観測で測定されたNO₃⁻-Nの濃度と流量より負荷量を求めると、St. 4からSt. 5の間で220kg/day、St. 5からSt. 6の間で200kg/day減少している。

これは、河床面積あたりそれぞれ3.8 g/m² day、5.2 g/m² dayの速さでNO₃⁻-Nを吸収していることを示している。

c) 懸濁物質(SS)について

前報において、高濃度のSSが野川において観測されこのSSが野川の汚染の中で重要な役割を果たし

ていることを報告したが、台風による増水の後に行なった2回の観測では図6(a)に見られるようにそのような値は観測されなかった。

SSの濃度と流量より求めたSS負荷(輸送量)の変化を図6(b)に示す。この図より台風による増水の後はSS濃度だけでなく負荷量も減少していることがわかる。特にこの現象は台風による増水の約1か月である10月17日の観測の場合に著しく、約3か月後の12月8日の場合には4月19日は観測したSS負荷量の値に近づきつつあることがわかる。

このように台風による増水の後、SSの負荷量がもとの水準に回復するのに3か月以上の時間を必要とするということは、SSが家庭排水から直接に起因するものではなく、底泥付着の藻類が死滅して生じているものであるということを示唆するものと考えられる。

このことは、各地点で採取したSSのCHN元素分析を行なった結果 C/N 比がほぼ7また C/H 比がほぼ2と、植物プランクトンの組成 CHO' より求められる C/N 、 C/H 比とよく一致することと共にSSの大部分が植物より起因するということを示していると考えられる。

家庭排水から直接に起因すれば、SSの負荷量が回復するのに3か月以上もの時間を要しないであろう。

ま と め

以上見てきたように、野川のような流下時間の短い(国分寺の発生点から多摩川との合流点まで約10時間)中小河川でも栄養塩は予想以上に重要な働きをしている。つまり栄養塩が過剰に存在するために底泥に各種の藻類が多量に付着し、これが死滅して流下するために下流域のBODが悪化するというパターンである。

富栄養化の問題については従来湖沼や沿岸海域でだけ問題にされてきたが、都市近郊を流れる中小河川でも重要な問題であることが明らかになった。

このことは、我々が都市近郊に清流を求めるにはCOD規制だけでは不十分なことを示している。

今後は栄養塩の除去といった方面で具体的な研究を進めていかなければならないであろう。

お わ り に

我々の身近に存在する強度に汚染された中小河川は、非常に複雑でかつ活発な活動を行なう反応器と考えることができる。この反応器には、人間・植物・動物・物理・化学的自然が複雑にからみあって影響を及ぼし、かつ予期せぬ外乱も多い。このような中から本質的で有用な情報を見つけるには、いきが長く、密度の高い調査・研究が必要である。

最後に、本研究を行なうにあたりご協力くださった本研究所第4部鈴木研究室助手茅原一之博士(12月8日観測)、東京大学大学院学生杉谷和俊、岡崎士郎、堀雅文(10月17日観測)、神奈川大学工学部

政井清美（12月8日観測）、鈴木研究室非常勤職員鈴木繁（10月17日、12月8日観測と分析）、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助成によったことを付記し謝意を表します。

（1978年1月25日受理）

参 考 文 献

- 1) 鈴木、川島、河添：生産研究、29 548(1977)
 - 2) M,Uchiyama:Water Research 11, 205(1977)
 - 3) 手塚泰彦；「環境汚染と生物Ⅱ」共立出版(1972)P.34
 - 4) 多摩川・荒川等流域別下水道整備総合計画に係る基礎資料Ⅱ；東京都都市計画局施設計画部(1977)
- Sverdrup,H,U,M,W·Johnson,and R,H,Fleming:The Oceans (1961)

1. はじめに

著者ら¹⁾は既に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 1μ 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機により、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、これは試料水の出入れのためと実験中除菌フィルターを通じ大気

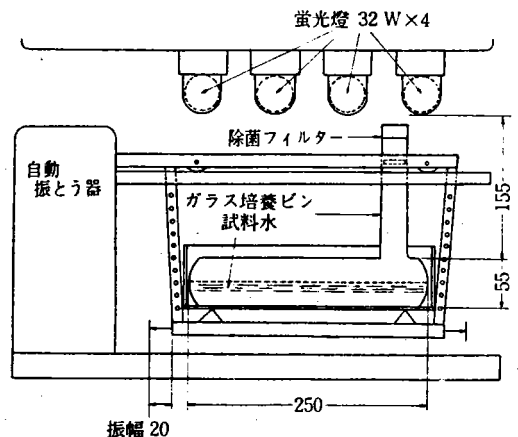


図1 AGP測定装置概略図 (単位 mm)

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回行なった。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殖種、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NO₂⁻とNO₃⁻であると思われる。また野川ではNO₂⁻-Nは短時間でNO₃⁻-Nに変わ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。

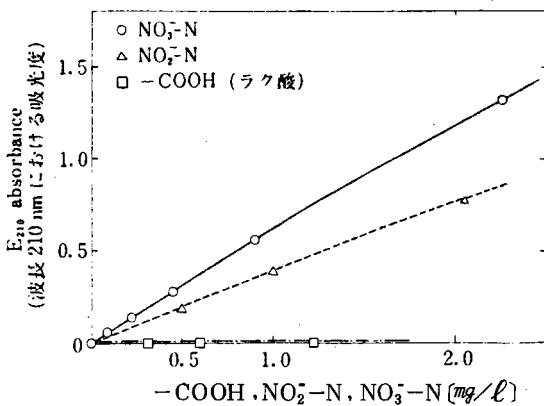


図2 NO₃⁻-Nと吸光度との関係

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(10mg/l)Micronutrient²⁾(微量金属元素の混合液)(10ml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わりなく、250mg/lから350mg/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、

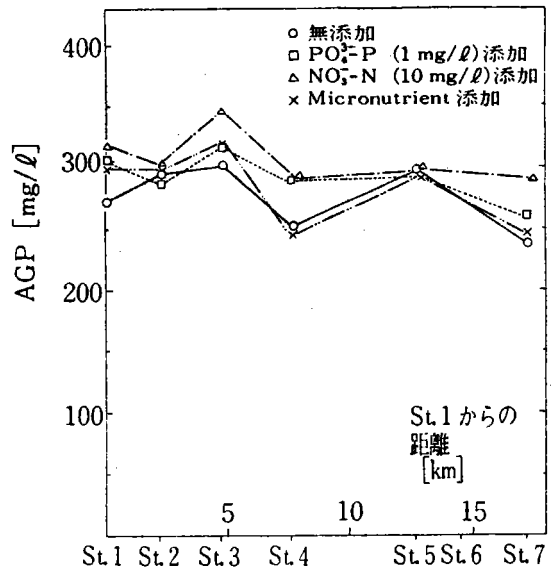


図3 野川におけるAGP変化

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を見せている。

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	PO ₄ ³⁻ -P
16:50	0.6 m/sec	2.5°C	10.0°C	1.7 mg/l	7.2	115 mV	1.1×10 ³ /cm	60 mg/l	185 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)の元素分結果 (重量パーセント)

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

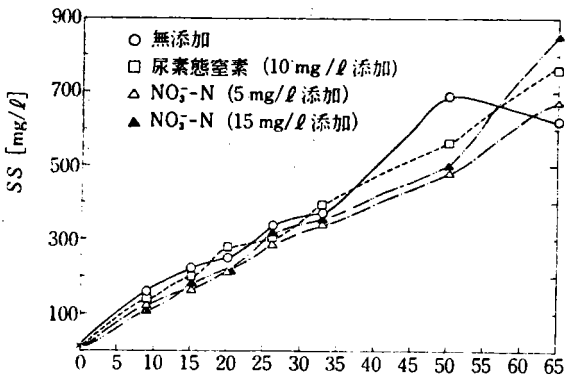


図4 野川におけるAGP経時変化 [H]

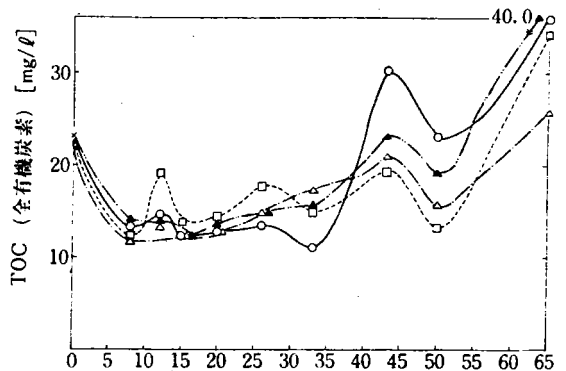


図5 AGP培養液中TOC濃度経時変化 [H]

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0mg/lとなり、またTOCは1.2~1.5mg/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が水中に溶けこみ、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。

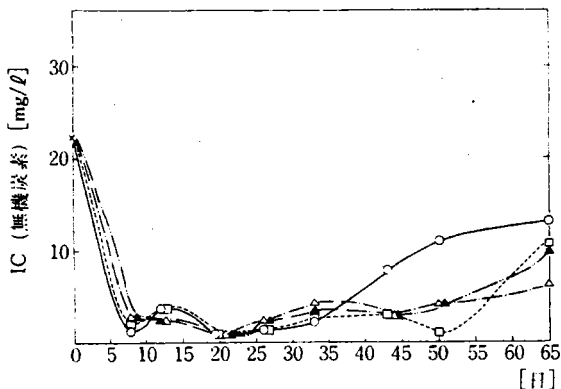


図6 AGP培養液中IC濃度経時変化

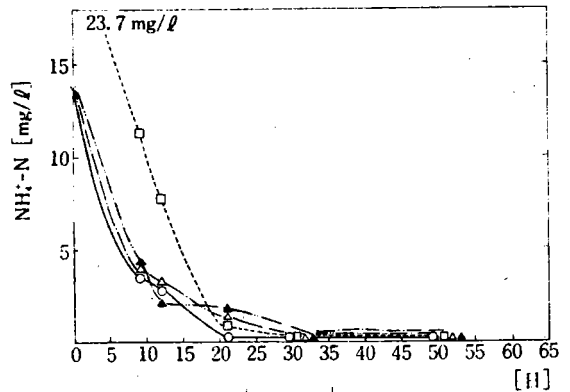


図7 AGP培養液中NH₄⁺-N濃度経時変化

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3日後にはほぼ消失している。この原因につ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日間でほとんど消滅している。

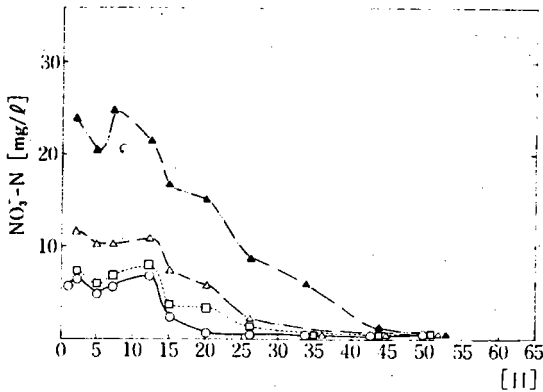


図8 AGP培養液中 NO_3^- -N濃度経時変化

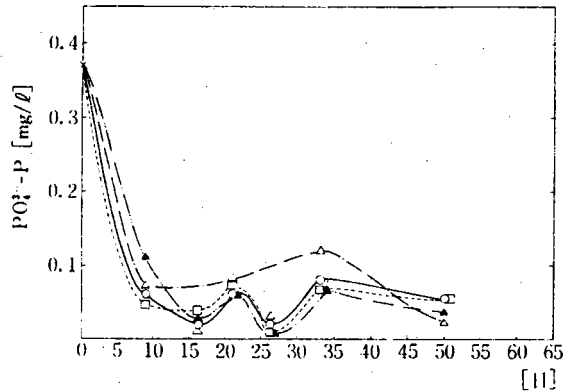


図9 AGP培養液中 PO_4^{3-} -P濃度変化

図9は PO_4^{3-} -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 PO_4^{3-} -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 PO_4^{3-} -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 NH_4^+ -Nと NO_3^- -Nの和は約20mg/lである。これ以外に、野川においてはごく少量の NO_2^- -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、 PO_4^{3-} -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1.1%と非常にバラつく原因が分析誤差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考えられる。

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政井清美の各氏に厚くお礼申し上げます。

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)

第5章

野川の藻類生産力に与える処理の効果

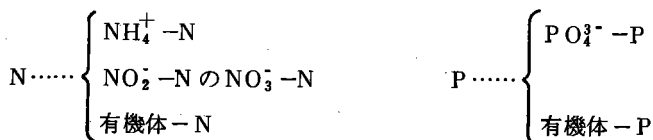
鈴木 基之・茅原 一之・横山 明典・重久 卓夫
松井 功

1. はじめに

現在、河川においても富栄養化により藻類が過剰繁殖して、河川の景観を損ね死滅して川底に推積してへドロ化して外の生物へ悪影響を与えているとされている。とくに富栄養化を促進させるものとしては、流水中の無機栄養塩即ち、N, Pが上げられる。しかし様々な形態のN, Pが存在し、それらの影響も種々異なっている。例えば水系に生息する魚介類に対しても NH_4^+ -Nが数ppm存在することで嫌忌行動や致死現象がおこることが言われている。しかし NH_4^+ -Nだけでなく、 NO_3^- -Nや NO_2^- -Nの形態を持ったものや、リン酸塩も富栄養化に影響するものと言われている。実際、あるレクリエーション用の湖においてはリン酸塩が0.5 ppm以下に維持されていれば藻類の繁殖によるトラブルは避けられ、0.05 ppm以下にまでなると藻類の繁殖が見られなかったという事実もある。このように富栄養化の要因となるものは様々であるが、これらのうちのどの因子が藻類の繁殖に対して大きな影響を及ぼしているかはその対象とする水域によって異なり、一般的にははっきりとつかめていない。したがって我々はここで、都市汚濁河川の代表例として多摩川の支流の一つである野川を対象としてそれを明らかにする目的で、実際の河川水に対し、N, Pを除去する目的でいくつかの処理水を作成し、AGP(藻類生産力 algal growth potential)によってその富栄養化の程度を調べる実験を行なった。

2. N, Pの除去法

河川、湖沼水中の溶存態のN, Pはその大部分が次のような形で存在している。



現在、下水の高度処理を目的とした具体的除去法としては、

- N分除去法
1. 生物学的処理法
 2. アンモニアストリッピング
 3. イオン交換法
 4. 塩素処理法…………… etc

- P分除去法
1. 石灰凝集沈殿

…………… etc

などがあげられる。実際、我々の適用した除去法としては大量の河川水を対象とすることを念頭におき

(A)石灰凝集沈殿法による $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の除去(B)イオン交換法による $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の除去(C)生物学的処理法である。

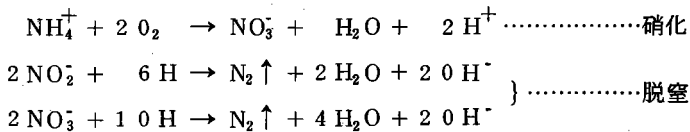
3. 実 験

昭和53年5月17日及び6月17日に野川で採水してきた水の組成はTable 1.2に示す。

この両日にわたる採水は、処理実験に時間がかかる為に比較対象として行なったものである。次の方法で3種の処理水を作成しAGPにより評価した。

3-(1) 処理実験の概略

- (A) 石灰凝集沈殿法……野川原水に所定の濃度の消石灰を注入しpHを上げリン酸イオンをヒドロキシアパタイトの形で沈殿させる。これを過し、液のpHを塩酸によって中和したものを処理水(A)とした。
- (B) イオン交換処理……この処理水は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ のみを原水より除いたものである。イオン交換体として天然ゼオライトのクリノプロライト10/20を用いた。カラムの大きさは $\phi 20 \times 400\text{mm}$ のもので、その中にクリノプロライトを充填し、滞留時間20 (min) で原水を feed しイオン交換除去した水を処理水(B)とした。
- (C) 生物処理……生物化学的硝化脱窒を直列に行なったものであり、原水を $25\text{ml}/\text{min}$ で feed し、硝化槽は好気性に維持し、平均滞留時間10 hr、水温 23°C 、さらに嫌気性のもとではほぼ同じ滞留時間をかけ脱窒を行なった。反応は次のように表わせる。



脱水槽には脱窒を行なわせるための水素源として、 CH_3OH を $\text{CH}_3\text{OH}/\text{H} = 1.9$ の割合で注入した。硝化・脱窒が定常になるのを確認するため、両槽出口の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ を測定した。この処理水を処理水(C)とする。以上のように処理した処理水について処理結果を表2に示す。表中、処理水(D)は比較のために原水をミリポア (1μ) GFPにより 過しただけのものである。

3-(2) 処理水の藻類生産力 (AGP) の測定

各々の処理水を一定量づつ、AGP測定装置⁵⁾ にかき、野川原水を極少量植種し水質の経時変化を、 (NO_3^-) (NH_4^+) $(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$ (IC) (TOC) (SS) について調べた。とくに (SS) については濁度を測定し予め求めておいた相関を用いて算出した。この結果をFig 1~7に示す。また、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は紫外吸光度を波長 210nm において求めた E_{210} を用い、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ はインドフェノール法⁴⁾、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ はモリデンブルー吸光度法⁴⁾ を用いてそれぞれ測定した。

4. 結 果

図1は生物学的硝化脱窒を引き続き行なった際の NH_4^+-N , NO_3^--N の測定結果である。図によると硝化槽流出水の NO_3^--N 濃度は次第に上昇し、硝化能力が次第に向上して行きつつあることを示している。硝化槽、脱窒槽流出水の NH_4^+-N 濃度は当然のことながら定性的には同じ傾向を示していて18~25日程度ではほぼ一定値を示している。この結果より約20日後に平常運転に硝化、脱窒槽がなつたと判断して、処理水(C)はこのときにサンプリングしたものである。また生物処理によりリン濃度は約 $1.6 \text{ mg}/\ell$ となっており、入口原水中の $3.1 \text{ mg}/\ell$ より50%程度は除去されているようである。従って硝化脱窒槽はこの場合 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$, NO_3^--N , NH_4^+-N に対して全般的な除去効果を示していると言えよう。

図2以下は各処理水のAGP実験における水質の経時変化である。図2に各処理水の濁度の経時変化を示してある。濁度とAGP(藻類濁度)の相関は図3に依つた。(A)(B)と(C)では実験のスタート日が異なることと比較した原水の採取日も異なっているので正確な比較は難しいが、原水(5/17)と原水(6/17)がほぼ同じ傾向を示すことから、処理効果をSS絶対量で比較した場合

スタート日より20日経過時点で

原水	270 mg/ℓ
処理水(A)	190 mg/ℓ
処理水(B)	120 mg/ℓ
処理水(C)	50 mg/ℓ

SSの相対量で比較した場合

スタート日より20日経過時点で

処理水(A)	原水の70%
処理水(B)	" 44%
処理水(C)	" 19%

が生じる生産力を残していることとなる。以上の結果からして処理水は(C), (B), (A)の順で藻類発生の抑制効果を持っていることがわかる。処理水のAGPからの判定基準としてはSSの結果が他の成分の結果よりも端的に除去効果を表現している。結局、処理法としてはtotal-N($\text{NO}_3^--\text{N} + \text{NH}_4^+-\text{N}$)除去が、効果があるという結果になった。

AGP測定過程における水中の NH_4^+-N , NO_3^--N , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$, 無機炭素、全有機炭素濃度の変化を図4~8に示す。 NH_4^+-N は原水、処理水B(石灰処理後)において急激に減少しているが、これが硝化菌の存在による硝酸化によるものか、或いは直接藻類の摂取によるものかは、図2、5との比較からは明らかではない。図6より PO_4^{3-} は比較的短期間で濃度減少しているように見えるが、AGPはその後も増加を続けることから、 PO_4^{3-} が律連となる濃度は可成り低く、初期の急激な減少はむしろluxurious uptakeに対応する現象かも知れない。

TOCが経過に従って減少しているのは、光合成のみではなく、好気性のバクテリア、原生動物等の増殖があつたためと考えるべきで、事実原水についてはAGP測定後サンプル中の顕微鏡観察で輪中その他

の存在を確認している。

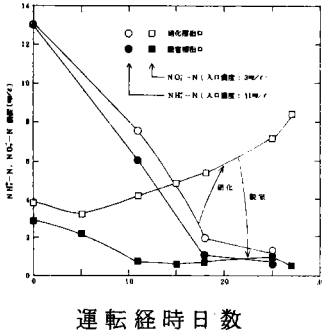


図 1. 硝化、脱窒実験開始後の出口窒素濃度の経時変化

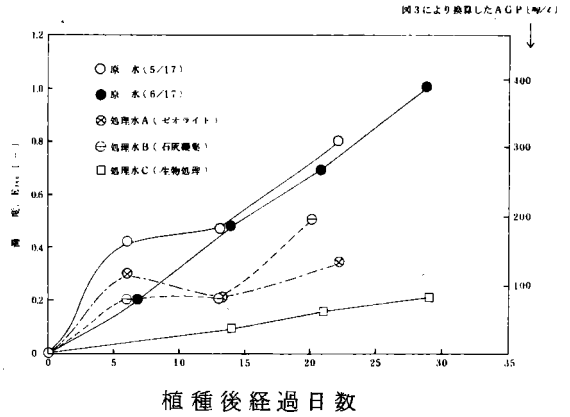


図 2. AGP測定過程の濁度の経日変化

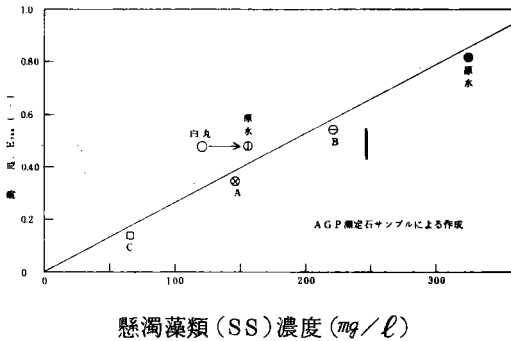


図 3. 濁度 (750 による) と懸濁藻類濃度の相関

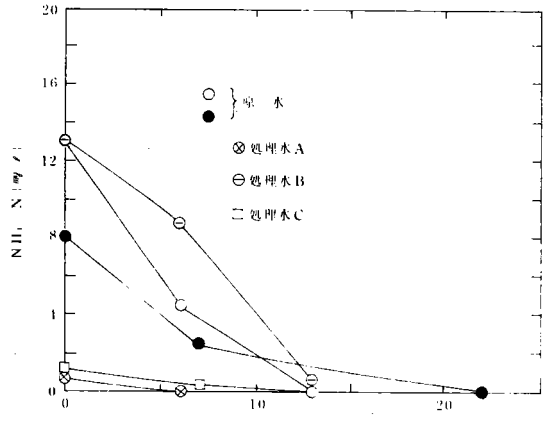


図 4. AGP測定過程の NH_4^+-N の変化

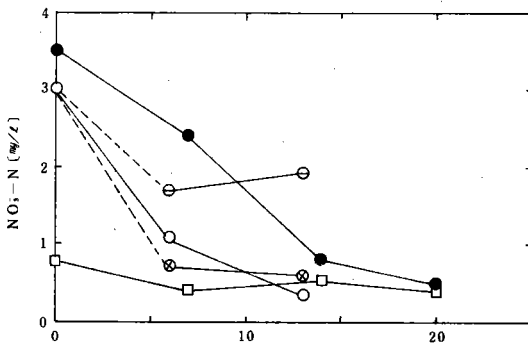


図 5. AGP測定に伴う NO_3^--N の変化 (記号図4.参照)

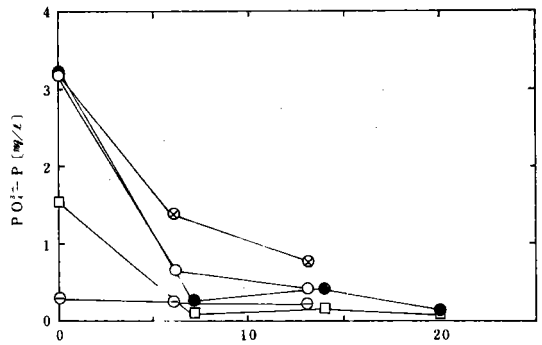


図 6. AGP測定に伴う $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ の変化 (記号図4.参照)

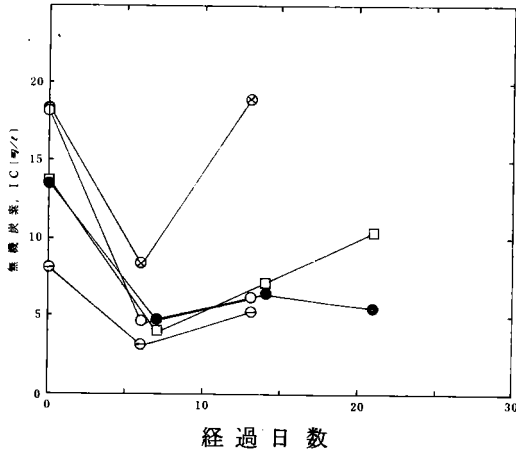


図7. AGP測定過程での液中溶存無機炭素の変化（記号図4参照）

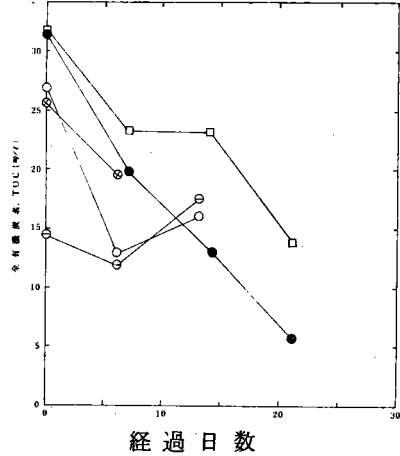


図8. AGP測定過程における液中有機炭素濃度変化（記号図4参照）

5. おわりに

結果としては生物学的処理をした処理水(C)が富栄養化に対して十分な抑制効果があるということになったが、生物学的処理ではNだけを除去したのではなく PO_4^{3-} 、BODも除いていると考えられるので、これらの相乗的な効果が含まれるものと考えられる。また、藻類の種類については、AGP器内に繁殖する藻類と河川の底質付着性の藻類とは異なることも考慮せねばならない。この点はむしろAGP測定の限界とも考えられる。今後の課題としては、AGP実験のように回分式でN、Pの濃度が変化する場合における測定の結果を、実際の系では藻はいつもほぼ一定の濃度の $NO_3^- - N$ 、 $NH_4^+ - N$ 、 $PO_4^{3-} - P$ などにさらされている状態への適用性を考えるべきであろう。また、抑制因子の決定においても、それぞれの因子の相互作用を明確にさせて行く必要があるだろう。

本研究に際し、東京大学生産技術研究所大学院学生川島博之氏の協力を得たことを記し謝意を表します。また研究の一部をとくさゅう環境浄化財団の補助に依ったことを付記します。

参考文献

- 1) 鈴木 川島 河添：生産研究 29 79(1977)
- 2) 鈴木 川島 藤井：生産研究 30 127(1978)
- 3) 遠矢 下水道協会誌 7.74.21(1970)
- 4) 海洋観測指針：気象庁編(1970)
- 5) 鈴木 川島：生産研究 30 344(1978)

	5月17日採水	6月17日採水
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	11 (mg/l)	8 (mg/l)
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	3.0 (mg/l)	3.6 (mg/l)
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	3.1 (mg/l)	3.2 (mg/l)
TOC	23 (mg/l)	42 (mg/l)
IC	20 (mg/l)	19 (mg/l)

表 1. 野川採水サンプルの水質

処理水	(A)	(B)	(C)	(D) 5/17
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ (mg/l)	0.27	~	1.6	3.1
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (mg/l)	~	0.7	0.8	11
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (mg/l)	~	~	1.0	3.0
TOC (mg/l)	~	~	30.7	23
IC (mg/l)	~	~	13.3	20

表 2. 各処理水の水質

(注) 表 2 中 ~ はほぼ(D)と同じと見なした。

第6章 野川最下流における24時間観測の結果の考察を中心として

鈴木基之 ・川島博之

はじめに

汚濁物質が河川中でどのような生物・化学的变化を受けるかについて知ることは、河川の浄化計画を立てる上で重要である。従来中小河川の有機汚染に関しては、下水より排出された有機物について主に議論されてきたが、著者らは前報^{1), 2), 3)}において底の付着性藻類も中小河川の有機汚染に重要な役割を果たしていることを示した。

本報においては、前報までの研究で明らかになった汚濁河川中の2つの支配的な生物化学的反応(底質付着藻の挙動と好気性バクテリアの挙動)をより定量的に明らかにすることを主目的として行った検討について報告する。

都市近郊を流れる汚濁河川の代表として、同報までと同様に野川を選んだ。

目的と方法

前報までの研究により野川における支配的な生物化学的因子として(1)底質付着藻による栄養塩のとり込み、付着藻の死滅流出、(2)好気バクテリアによる底泥中、流水中での易分解性有機物の分解の2つであると考えられる。

野川をこの2つの反応を行う反応器と考えれば、それぞれの反応に関与する物質について物質収支をとれば、これらの反応の寄与を定量的に明らかにすることが出来る。本研究は巨視的な視野に立ち、反応器としての野川の全体像を明らかにしようと試みたものである。

野川への反応関係物質の流入量は観測により実測することが困難であるため、今回の研究では東京都首都整備局⁴⁾の資料によった。また野川から多摩川への流出量については目周変動のあることを考慮して24時間連続観測の結果を積分することにより求めた。

物質収支を考えるタイムスケールをどの程度にするかについては議論のあるところである。汚濁物質の野川への流入は24時間のタイムスケールで変動していると考えられる。これに対して、生物・化学的反応(好気性バクテリアや藻類の活動)は日周変動と共に年周変動も行っていると考えられる。またSSなどの流出量は雨量に大きく依存している。これらを考えあわせるとき、24時間、1ヶ月、3ヶ月、1年などのタイムスケールで物質収支をとることはそれぞれ違った意味を持つことがわかる。今回は観測の容易さから夏季の24時間の物質収支についてのみ述べる。

観 測

野川から多摩川へ1日の間に流出する有機汚染関連物質質量を正確に把握することを主目的に、あわせて野川の日周変動についても考察するために、1978年8月2日から3日(曇り、夜間一時雨)に渡って、24時間連続観測を行った。観測地点は野川最下流(二子橋)で、前報²⁾におけるSt.8と同一地点である。観測に用いた器具および分析の方法は前報までのものと同様でありまた、今回新たに加えたTDNの分析は住友化学工業ガスクロマトグラフィーGCT-12Nを用いHeバツ気で溶存無機窒素を追い出した試水について測定した。炭水化物の分析はフェノール・硫酸法⁵⁾、脂質はエーテル抽出法、フミン酸はカチオン交換樹脂(アンバーライト1R-120-B)処理水、紫外(300nm)吸光法⁶⁾によりそれぞれ行った。これら測定・分析の方法を一括して表1に、また観測の結果を表2に示す。

日周変動に関する考察

図1に気温、水温の変動を示す。図2には流量の変動を示す。観測の初期において流量が多いのは前日の雨の影響によるものと考えられる。また深夜から早朝にかけて流量が6万t/日程度まで低下したことは流域住民の生活活動の低下によるものと考えられる。前回までの昼間の観測では最低でも11万t/日

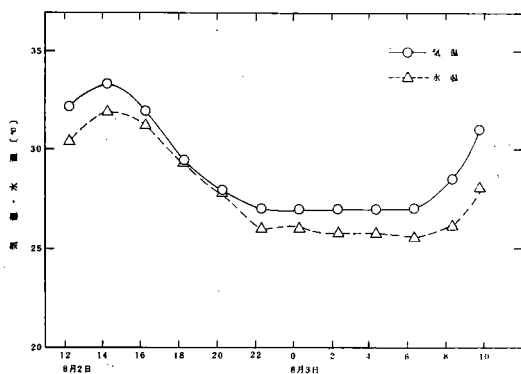


図1. 気温、水温日周変動

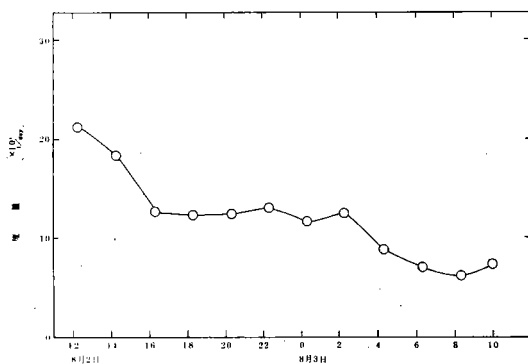


図2. 流量日周変動

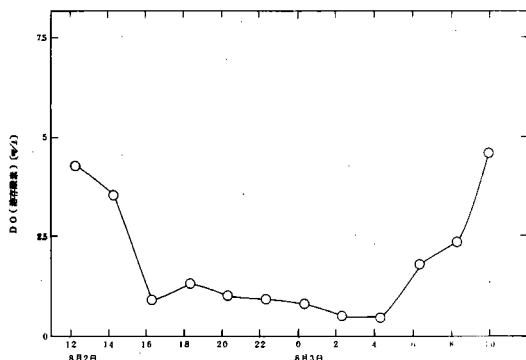


図3. DO日周変動

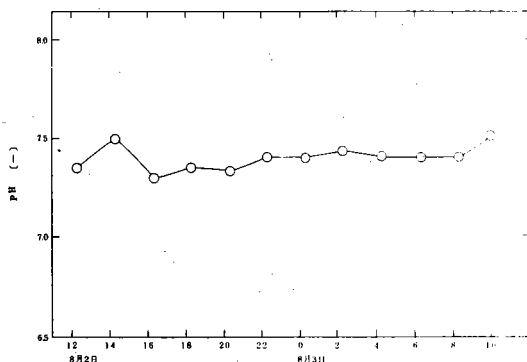


図4. pH日周変動

程度の値を観測しており、このことは野川流下水の多くの部分が下水に起因していることを示唆している。(参考:野川の流域人口は約60.1万⁴⁾人、汚水原単位を0.20t⁴⁾日・人とする、発生活污水量約12.2万t/日、これは野川の流量とよく一致する。)このように従来は自然水(湧水)や農業用水を主に流下させていた野川は、都市化と共に主に下水を流下させる川に変質している。

図3にDOの変動を示すが、DOの変動は顕著なものがある。これは次の2つのことを示すものと思われる。³⁾ 富栄養化状態にあること:日中のDO濃度の上昇は、植物の光合成の結果であると考えられる。つまり野川には植物がDO濃度を激しく変動させるほど多量に生息している。²⁾ 強腐水状態にあること:夜間のDO濃度が1mg/lを下回ったということは、野川に易分解性有機物が多量に存在し、かつそれを分解するバクテリアの活動が活発である。藻類の呼吸だけでは夜間のDO濃度が1mg/l以下まで下がることは考え難い。

以上のようにDOの日周変動からも、野川における支配的な生物・化学的現象として、付着藻類の活動と好気バクテリアの活動の二つがあげられる。

図4にpHの変動を示すが、これは顕著な変動を見せず、これからは光合成の影響が明らかではなかった。これはpH緩衝作用を持つ物質の存在によるものと考えられる。(図5.く加えたH⁺, OH⁻の量と実際に変化したH⁺, OH⁻の量の比をpHに対してプロットしたもの)参照)この物質がどのようなものであるかについては、今後の研究課題である。

図6 a. に懸濁固形分(SS)の濃度変動、図6 b. にSSの流下量変動を示す。SSの流下量は時刻と流量の2要因に支配されると考えられる。観測の初期において、8t/日程度の流下量を観測したことの主要因が増加した流量によるまき上げ現象によるものか、生活活動の増大を表すものかは不明であるが8月3日の10時に観測した6t/日程度の流下量は、生活活動によるものと思われる。

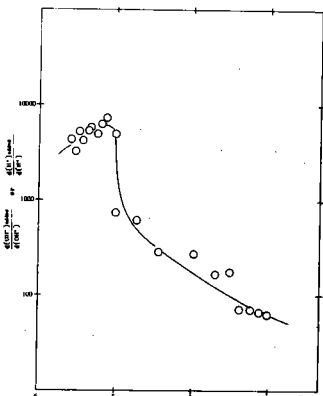


図5. 野川水のpH緩衝能力
(1979年1月11日採取の資料)

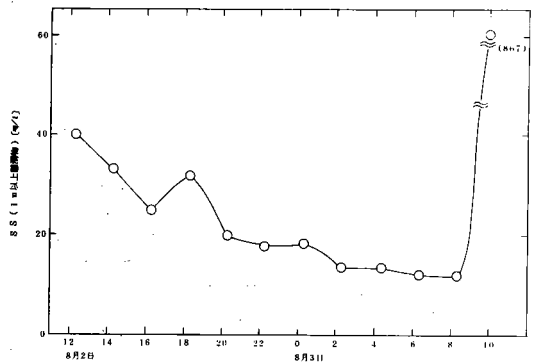


図6 a. SS濃度日周変動

同様に図7 a. b、図8 a. bにTOC, ICの変動を示すが、これらはTOC, ICの流下量が流量に依存していることを示している。雨の影響による流量の増加に伴って溶存物質の流下量が増加することは、底質などからの溶存物質の迅速な供給を考えねばならず、図9に示すフミン酸、炭水化物、脂質の濃度変化の問題とからんで今後の研究課題となった。

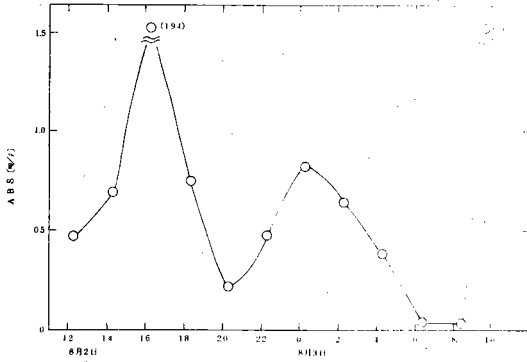


図 10 a . A B S 濃度日周変動

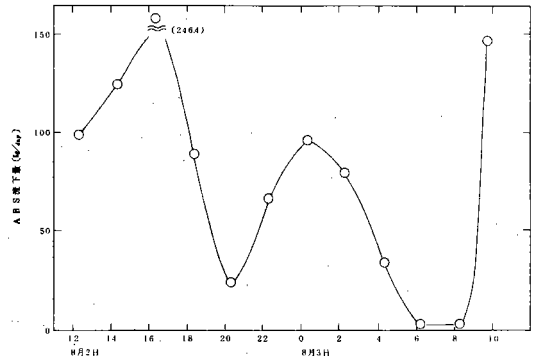


図 10 b . A B S 流量日周変動

NO₂⁻-N, NO₃⁻-N と E₂₁₀ との関係に関する考察

図 12 は、NO₂⁻-N + NO₃⁻-N と E₂₁₀ との関係を示す (点は野川水、実線は蒸留水に NaNO₂, NaNO₃ を加えたもの)。この図に見られる関係は、前報で引用した関口⁸⁾ のものとは若干の異りがある。

図中に点線で示すように関口らの関係式と傾きはよく一致するのであるが、野川においては、NO₂⁻-N, NO₃⁻-N が存在しなくてもかなり高い E₂₁₀ (absorbance 0.5 程度) を示すことが解った。これはカルボン酸などの有機物によるものと考えられ、これが流量の変動をあまり受けず、常に野川に存在していることが考えられる。

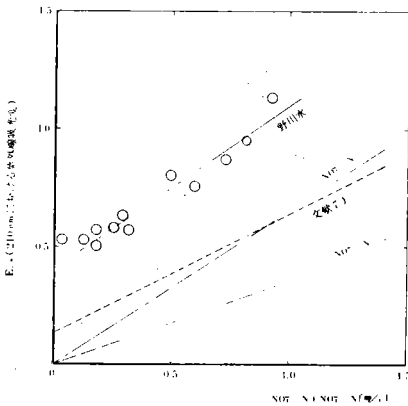


図 11. NO₂⁻-N + NO₃⁻-N 濃度と E₂₁₀ との関係

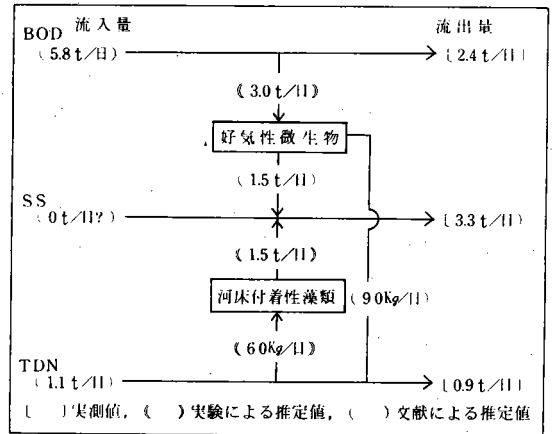


図 12. 野川における物質収支概念図

物質収支に関する考察

観測の結果より時間積分して求めた 1 日の野川からの流出量を表 3 に示す。野川への汚濁物質の流入量については、前出の資料より推定せざるを得なかった。(資料⁴⁾より野川流域の BOD 発生量 34,200 Kg/日 流失量 22,500 Kg/日、T.N 発生量 7,300 Kg/日、流失量 5,140 Kg/日、野川への流達率 21.8%)。

また藻類の存在量と成長速度は、素焼板を野川に投入し11日間放置し、それに付着した藻類の乾重量を測定することにより求めた。(1978年10月実施)藻の増殖速度は、この期間平均11.6 g/m²日、Nの蓄積速度は0.42 g/m²日(元素分析利用)であった。野川に存在する付着藻類の量は別に採取したサンプルより河床面積を考慮し15 t程度、藻類の平均付着時間は増殖速度および存在量より、定常状態を仮定して10日程度であると推定した。

以上を模式図に表わすと図12.のようになる。BODについてはは前報²⁾でBOD濃度の減少と河床面積の関係から5 t/日程度のBOD自浄能力を野川が有することを述べたが、物質収支からこの値を求めると3 t/日程度になり若干少ない値となる。

また図12.よりSSはそのかなりの部分が、下水から直接生じたものでなく、バクテリアや藻類の死がいであることが推定される。Nについては、野川のような中小都市河川では、有機態として存在するNが多いことがわかった。また無機態のNについては、多摩川へ流出する量の約2倍の量が生物の活動のために使用されていると考えられ、生物がNの挙動に関しても重要な役割を果していることが確認できた。

おわりに

今回の日周変動に関する研究を通して、有機物が河川内において複雑な挙動をしていることが明らかである。有機汚染の本質が溶存酸素量の低下にあるため、従来はBOD₅などマクロな指標についてのみ議論されてきたきらいがある。しかし栄養塩を多量に含んだ水の汚染を議論する場合、有機物が河川中での光合成により生成し、また好気菌による分解、代謝などの現象があり、BOD₅など初期における酸素消費量を考えるだけでは十分でない。また栄養段階の評価には前報³⁾で述べたようにAGPテストなどがあるが、これは易分解性有機物濃度が低く栄養塩濃度が高い停滞水域の汚染の程度を記述するものであり、野川のような河川の汚染を表すには十分な指標ではない。

易分解性の有機物と栄養塩を多量に含む水域の汚染の程度と、将来その水が流下しどの程度の影響を下流の環境に与えるかについて総合的に把握するためには、どのような手法がよいのか現在継続研究中である。

最後に本研究を行うにあたり御協力いただいた、お茶の水女子大学家政学部矢部研究室の方々、本所4部鈴木研究室助手茅原一之博士、藤井隆夫技官、東京大学大学院生堀雅文、岡崎士郎の各氏に厚く御礼申し上げます。また本研究の一部は、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。

(1979年2月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 鈴木、川島、河添：生産研究 29 548(1977)
- 2) 鈴木、川島、藤井：生産研究 30 127(1978)
- 3) 鈴木、川島：生産研究 30 344(1978)
- 4) 東京都首都整備局施設計画課：多摩川・荒川等流域別下水道計画策定に係る基礎資料Ⅱ(1977)
- 5) 日本分析化学会編：分析化学便覧 371 丸善(1971)
- 6) W.Leithe：The Analysis of Organic Pollutants in Water and Waste Water
188(1972)
- 7) 海洋観測指針：気象庁編(1970)
- 8) 関口、滝島：日本化学会誌 4 642(1975)

表1. 測定法一覽

測定項目	原理・方法	使用器械	備考
気温		種状アルコール温度計	
水温		同上	
pH	pH電極法	京都電子工業WP-42	
ORP		同上	
濁度	カオリン基準吸光度	同上	JIS法
DO	隔膜法	給水化学JDometer P	
水深		メモリをふった棒	
流速	起電力法	東方電機CM-1	
流量	Σ (流速×断面積)		
SS		1 グラスフィルター	JIS法
IC	燃焼CO ₂ 赤外吸光分析	島津TOC-10A	
TOC	TC=IC=TOC	同上	
BOD	クロマトリイ法	東亜電機 BODR-6	
フミン酸	紫外吸光法	湿式分析	文献7) 参照
炭水化物	フェノール硫酸法	同上	文献5) 参照
エーテル抽出物		同上	
ABS	メチレンブルー活性物 ジクロロエタン抽出法	同上	Water Research
E ₁₀		Deckman DB-GT	
NH ₄ -N	インドフェノール法	湿式分析	海洋観測指針による
NO ₂ -N	エチレンアミン スルファニルアミド発色法	同上	同上
NO ₃ -N	カドミウム還元法	同上	同上
TDN	カスター法	住友化学 GCT-12N	
PO ₄ -P	リン・モリブデン黄法	湿式分析	海洋観測指針による
AOP	定量的方法	自作測定器	文献3) 参照
固形物C:H:N	元素分析	Perkin-Elmer 240	

表2. 二子橋における24時間観測の結果

時刻	気温(°C)	水温(°C)	流量(m ³ /日)	pH	ORP(mV)	電導度(μm/cm)	DO(mg/L)	濁度(mg/L)	SS(mg/L)	IC(mg/L)	TOC(mg/L)	炭水化物(mg/L)	エーテル抽出物(mg/L)	フミン酸(mg/L)	ABS(mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	E ₁₀ (-)	NH ₄ -N(mg/L)	NO ₂ -N(mg/L)	NO ₃ -N(mg/L)	T-N(mg/L)	PO ₄ -P(mg/L)
8:2	32.2	30.5	($\times 10^6$) 21.2	7.35	100	($\times 10^2$) 1.00	4.2	65	40.0	20.0	14.2		7.0	3.9	0.47	-	0.89	0.54	0.22	0.50	8.6	0.80
14:00	33.0	32.0	18.3	7.50	40	1.15	3.5	60	33.3	22.1	14.3		4.7	4.2	0.68	21.8	0.53	0.69	0.08	0.03	9.5	0.90
16:00	32.0	31.5	12.7	7.30	10	1.00	0.9	50	25.0	22.8	15.8		4.0	4.8	1.94	-	0.53	0.45	0.01	+r.	6.7	0.94
18:00	29.5	29.4	12.1	7.35	0	1.10	1.3	50	32.5	21.0	13.2		3.7	4.6	0.74	21.0	0.67	0.40	0.17	0.02	6.7	0.66
20:00	28.0	27.8	12.5	7.33	50	1.20	1.0	40	20.0	22.4	11.8		5.0	4.1	0.21	-	0.80	0.27	0.29	0.20	6.7	0.58
22:00	27.0	26.0	13.0	7.40	23	1.15	0.9	46	17.5	22.8	11.4		18.7	4.3	0.47	28.2	0.64	0.23	0.22	0.07	6.7	0.86
9:2 0:00	27.0	26.0	11.7	7.40	30	1.17	0.8	30	17.8	22.1	11.6		9.0	4.3	0.82	-	0.58	0.32	0.22	0.02	6.7	1.00
2:00	27.0	25.7	12.5	7.43	30	1.06	0.5	20	13.3	22.8	11.6		19.3	4.3	0.64	16.2	0.90	0.54	0.14	0.03	7.6	1.05
4:00	27.0	25.8	8.7	7.40	20	1.05	0.5	40	13.3	21.7	13.8		6.3	4.1	0.38	-	0.58	0.77	0.16	0.15	6.7	1.11
6:00	27.0	25.5	7.0	7.40	40	1.05	1.8	40	12.0	23.1	14.6		14.0	4.0	+r.	14.1	0.76	0.32	0.10	0.52	6.7	1.05
8:00	28.5	26.0	6.1	7.40	-60	1.05	2.3	50	12.0	23.1	13.3		7.7	3.5	+r.	-	0.96	0.45	0.15	0.67	6.7	0.99
9:40	31.6	28.0	7.3	7.50	-30	1.10	4.7	120	86.7	23.1	11.1		21.0	3.5	2.02	16.0	1.14	0.41	0.20	0.72	8.6	0.81

	流下量		流下量
流量	1.2×10 ⁵ m ³ /日	エーテル抽出物	
SS	3.3×10 t/日	ABS	
IC	2.6 t/日	NH ₄ ⁺ -N	5.5×10 Kg/日
TOC	1.6 t/日	NO ₂ ⁻ -N	2.0×10 Kg/日
BOD ₅	2.4 t/日	NO ₃ ⁻ -N	2.5×10 Kg/日
フミン酸		TDN	9.1×10 ² Kg/日
炭水化物		PO ₄ ³⁻ -P	1.0×10 ² Kg/日

鈴木基之 川島博之

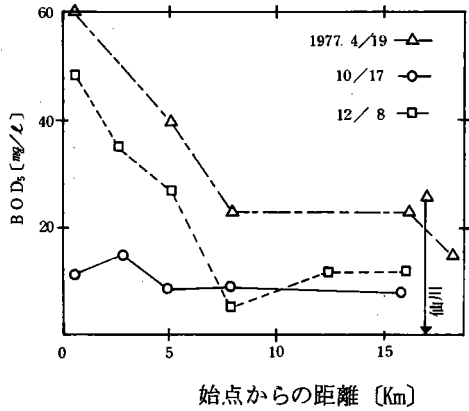
はじめに

都市河川における汚濁物質の挙動を知ることは、その浄化方策を考える上で重要である。本研究は国分寺に端を発し、東京西部の住宅地域を流下し、多摩川にそそぐ野川（全長18km，最大河幅22m，最大水深60cm，平均流量 $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$ ，流下時間約10時間，支流仙川）を例として、その中での自浄作用の評価と藻類の挙動を中心とした物質収支の推定について4回の観測の結果などを基に考察を加えたものである。

BOD, SS, Nの流入量と流出量

流入量は東京都首都整備局の資料¹⁾より求めた。これによると野川（仙川を含む）の流域人口は、約60万人であり、流域の流出汚濁量としてBOD 27.5 t/day、T-N 5.1 t/day、また野川への流達率は0.21と推定されている。

多摩川への流出量は、24時間連続観測の結果を積分平均することにより求めた。これをTable. 1に示す。



始点からの距離 (Km)
Fig. 1 野川におけるBOD₅変化

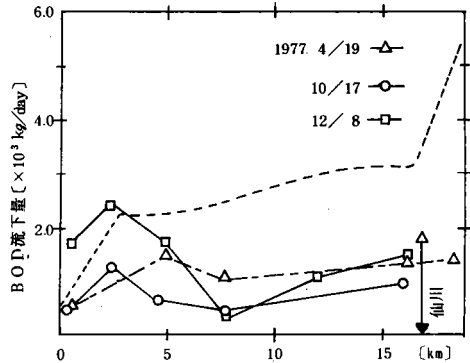


Fig. 2 野川におけるBOD₅流下量変化

	平均濃度	平均流下量		平均濃度	平均流下量
流量	-	$1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$	SS	$27.0 \text{ mg}/\ell$	$3.3 \times 10^4 \text{ Kg}/\text{day}$
水温	27.9°C	-	BOD ₅	19.8 ''	$2.4 \times 10^3 \text{ ''}$
pH	7.4	-	NH ₄ ⁺ -N	0.45 ''	$5.5 \times 10 \text{ ''}$
ORP	$+21.6 \text{ mV}$	-	NO ₂ ⁻ -N	0.16 ''	$2.0 \times 10 \text{ ''}$
DO	$1.9 \text{ mg}/\ell$	-	NO ₃ ⁻ -N	0.24 ''	$2.5 \times 10 \text{ ''}$
TOC	$13.0 \text{ mg}/\ell$	$1.6 \times 10^3 \text{ Kg}/\text{day}$	TDN	7.4 ''	$9.1 \times 10^2 \text{ ''}$
IC	$22.3 \text{ mg}/\ell$	$2.6 \times 10^3 \text{ Kg}/\text{day}$	PO ₄ ³⁻ -P	$0.89 \text{ mg}/\ell$	$1.0 \times 10^2 \text{ Kg}/\text{day}$

Table. 1 二子橋（出口）における24時間積分平均流下量
(1978, 8/2 AM12:00~8/3 AM10:00)

BOD自浄能力の推定

野川におけるBOD₅の測定結果をFig. 1に、また流下量の変化をFig. 2に示す。Fig. 2中の破線は自浄作用がないとして入口の分布より求めた仮想BOD流下量である。Fig. 2により野川がBOD約3.0 t/day（含む仙川0.9 t/day）のBOD自浄能力を有することが推定できる。これは野川が全域で流速が大きく（0.6 m/sec程度）曝気が良好なため、特に上流や仙川などBOD値の高い場所で浮遊性細菌による酸化が生じているためと考えることが出来る。沈澱による見かけ上の自浄は流速や河幅より、上流では、ほぼ無視出来ると考えられる。

AGP及び付着藻類

従来富栄養化の問題は停滞水域において問題にされてきたが、汚濁河川においては底泥付着の藻類が死滅剝離し新たな汚濁源となることが考えられるので、流下時間の短い河川においても考慮する必要がある。

野川から採取したサンプルについて、AGP (Algal Growth Potential) を測定した結果をFig. 3 (場所による変化)、Fig. 4 (経時変化の一例) に示す。Fig. 3は野川が全域に渡って極めて大きなAGP値を有し、藻類の成長にとって好適な状態にあることを示している。藻類の存在量と成長速度は、素焼板を野川に投入し11日間放置し、それに付着した藻の乾重量を測定することにより求めた。(1978年10月)藻の増殖速度は、この期間平均11.6 g/m²day、Nの蓄積速度は0.42 g/m²day (元素分析利用)であった。また野川に存在する付着藻類の量は別に採取したサンプルより河床面積を考慮し15 t程度、平均付着時間は増殖速度より定常状態を仮定すると10日程度となる。

BOD, SS, Nに関する物質収支

以上より野川の物質収支についてまとめるとFig. 5のようになる。野川においては自浄作用が活発で流入BOD量の約3/5 (約3,000Kg/day)が酸化される。これに伴ない細菌に摂取されるNの量は90Kg/day、発生するSSは

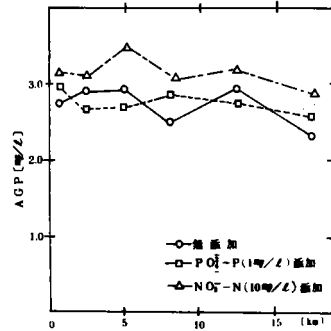


Fig. 3 野川におけるAGP₃₄変化

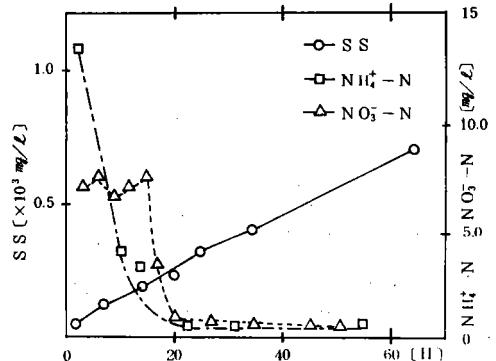


Fig. 4 野川におけるAGPと培養液中NH₄⁺-N, NO₃⁻-N濃度経時変化

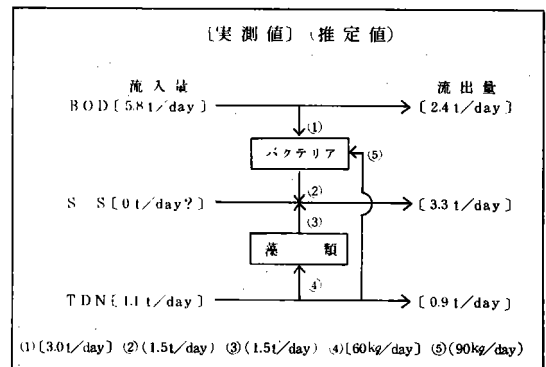


Fig. 5 野川における物質収支概念図

1.5 t / day 程度であると推定される。また底質付着藻は野川全体でN 60 Kg/day を摂取し、定常状態を仮定すると1.5 t / day 程度の藻がSSとして流出していることが推定される。

野川においては、バクテリアと植物（底質付着藻類）が物質の流れにおいて重要な役割を果たしていると考えられる。都市近郊の汚濁河川においては、高濃度の栄養塩による藻類繁殖が二次的汚濁源として寄与すること、またBODの自浄作用が著しく大きいことが判明した。

（謝 辞）

本研究の一部は、とうきゅう環境浄化財団の援助によったことを付記し謝意を表す。

また、分析の一部は、お茶水女子大学家政学部矢部研究室の協力を得たことを付記する。

1) 東京都首都整備局施設計画課：多摩川，荒川等流域別下水道計画策定に係る基礎資料Ⅱ

（1977年3月）