

## 都市河川における汚濁回復の研究

## — 野川における自浄作用 —

Selfpurification Mechanisms of Polluted Urban River—the Nogawa

鈴木基之\*・川島博之\*・藤井隆夫\*

Motoyuki SUZUKI, Hiroyuki KAWASHIMA and Takao FUJII

- 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 18 km の小河川である野川が BOD にして約 5ton/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<sup>1)</sup>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 $\mu$ 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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>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 106 mm) 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 $\mu$  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

流速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 BOD<sub>5</sub> (5 日間生物化学酸素要求量)、IC (無機炭素)、SS (懸濁物質)、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N (硝酸態窒素)、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-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、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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、(II) 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、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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 日目位より岩石の表面の一部に緑色の光合成藻

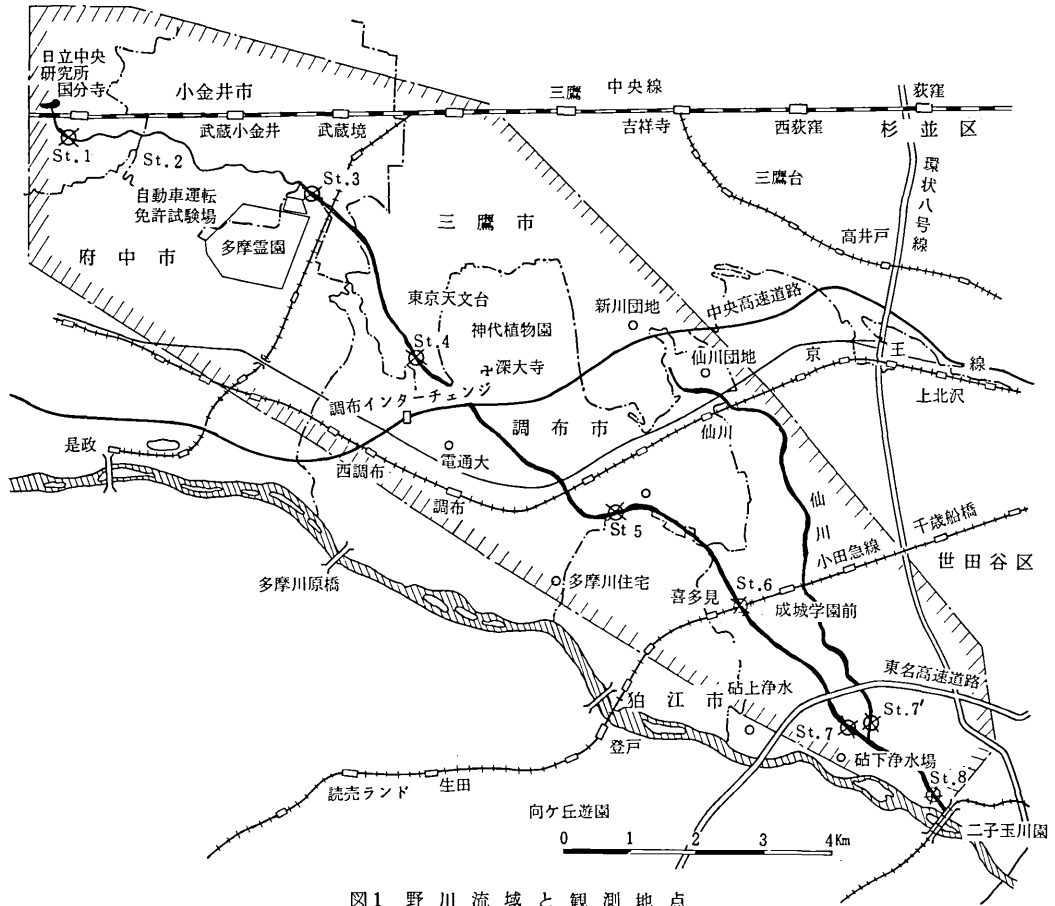


図1 野川流域と観測地点

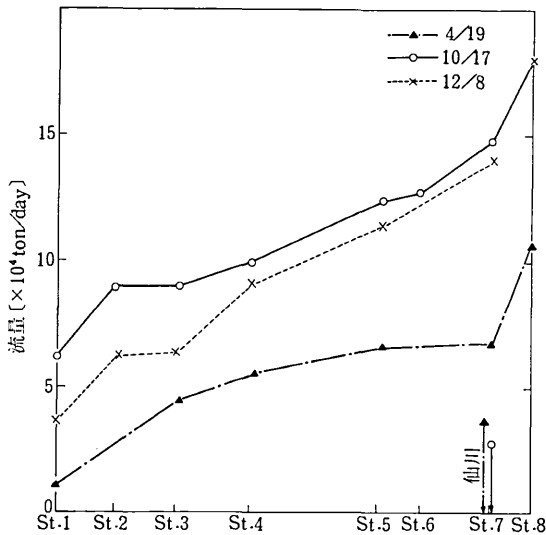


図2 野川における流量変化

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、NO<sub>3</sub>-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BOD<sub>5</sub>の測定結果を図4(a)に示す。このBOD<sub>5</sub>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BOD<sub>5</sub>と流量より求めたBOD<sub>5</sub>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新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。Phelps<sup>3)</sup>以来自浄作用を記述する式として  $C_t = C_0 \cdot 10^{-kt}$  ( $C_t, C_0$ 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

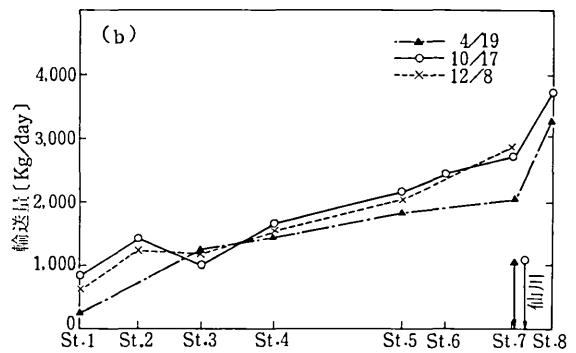
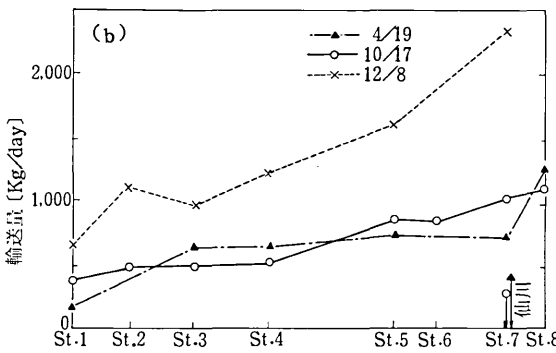
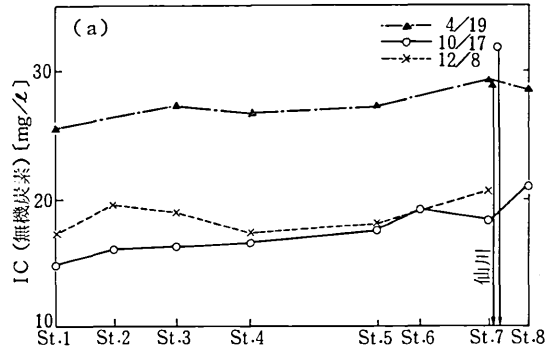
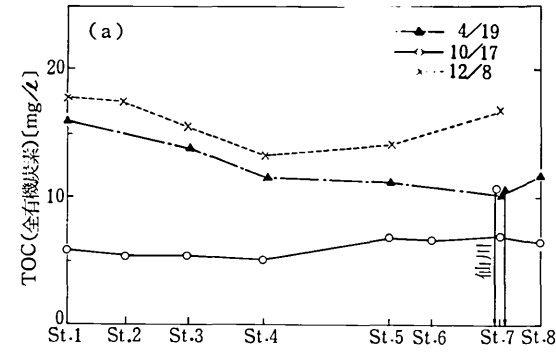


図3 野川における TOC 濃度(a)と TOC 輸送量変化(b)

図5 野川における IC 濃度(a)と IC 輸送量変化(b)

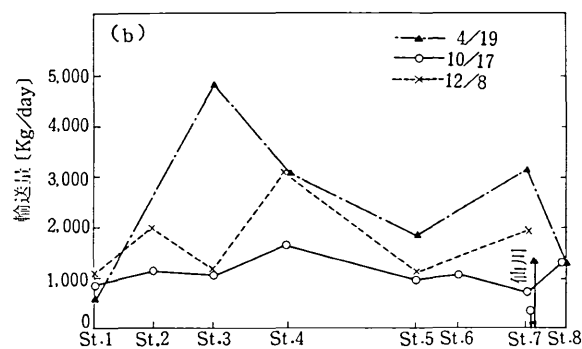
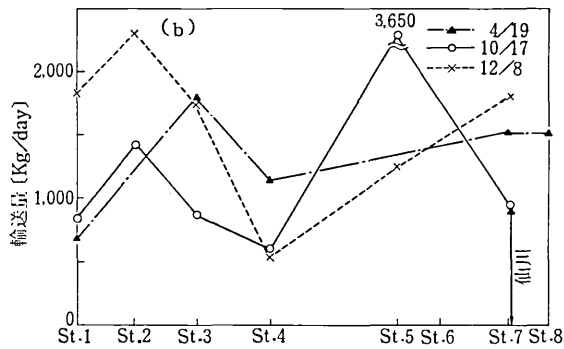
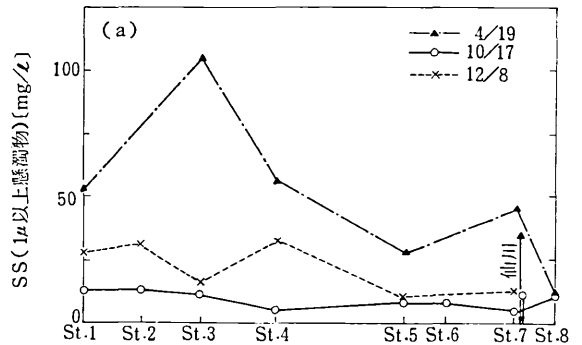
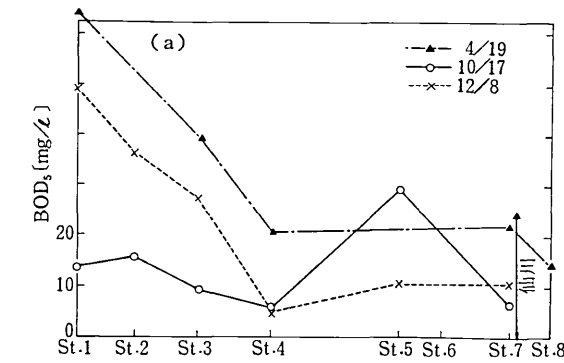


図4 野川における BOD<sub>5</sub>(a)と BOD<sub>5</sub> 輸送量変化(b)

図6 野川における SS(a)と SS 輸送量変化(b)

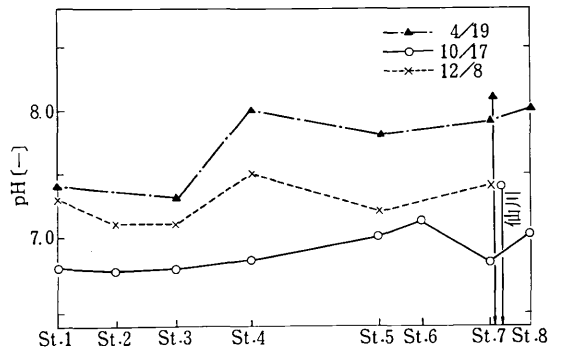
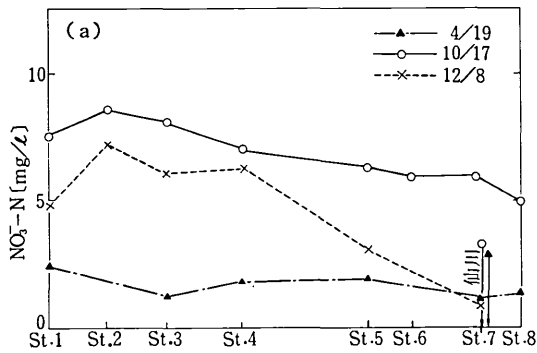


図9 野川におけるpH変化

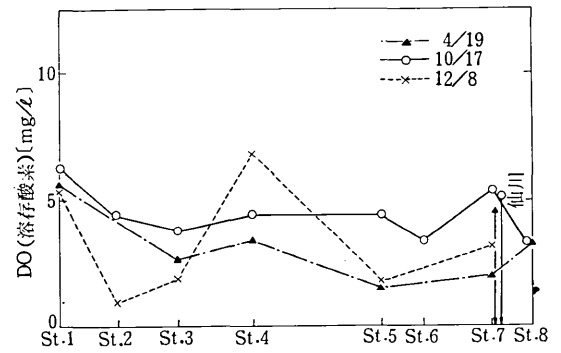
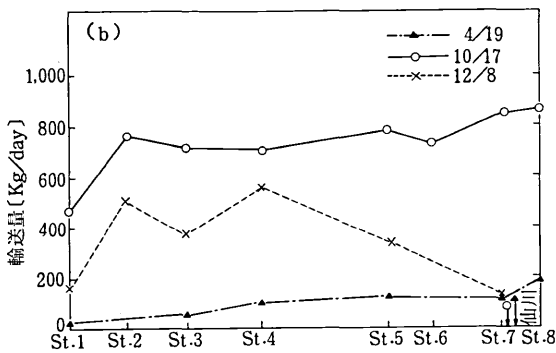


図7 野川におけるNO<sub>3</sub>-N濃度とNO<sub>3</sub>-N輸送量変化

図10 野川におけるDO変化

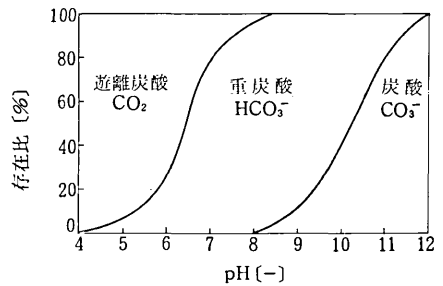
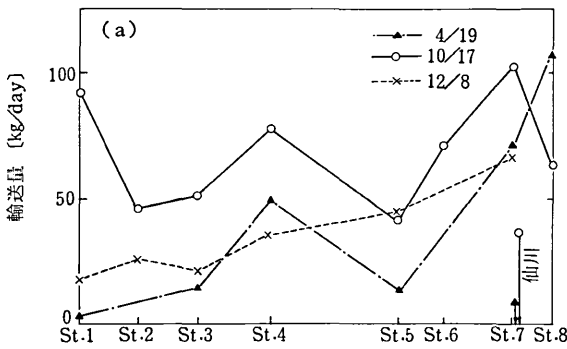


図11 純水のpHと炭酸の状態

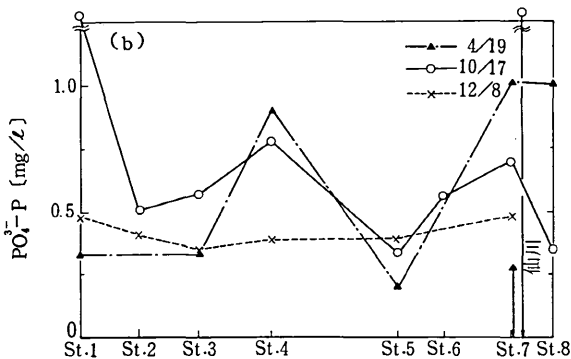


図8 野川におけるPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P濃度(a)とPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P輸送量変化(b)

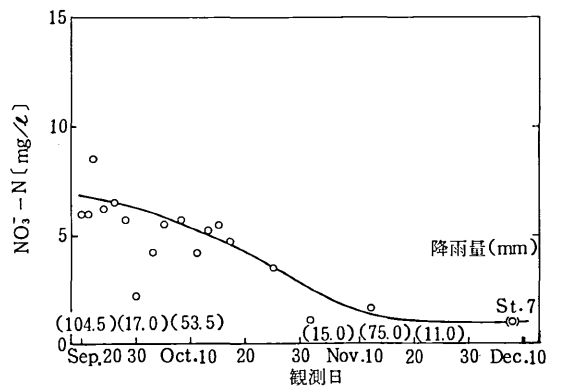


図12 St.8におけるNO<sub>3</sub>-N濃度変化

量の変化の少なかった St.2 から St.3 の間で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。既述の研究結果は米国 Ohio 川で 0.1, 日本の河川でも 0.15 ~ 1.84 程度<sup>3)</sup> 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ぬであろう。

しかし、BOD となる物質が分解されるにしろ沈殿するにしろ輸送量の変化から計算すると、野川は BOD にして約 30 g/㎡ day の自浄能力を持ち、野川の河床面積が約  $1.5 \times 10^5$  ㎡ 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 日に流入すると思われる。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<sup>4)</sup> (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、 $H_2CO_3$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$  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り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 pH 8 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 カ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 11<sup>5)</sup> 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。



この時発生した  $CO_2$  が  $HCO_3^-$  や  $CO_3^{2-}$  となり IC として観測されると考えることができるから、IC 負荷 1 kg はそれ以前の流域で BOD として (32/12) 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、この値はさきほど 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) $NO_3^- - N$ 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  $NO_3^- - N$  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  $NO_3^- - N$  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  $NO_3^- - N$  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  $NO_3^- - N$  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  $5 \text{ mg/l}$  以上の  $NO_3^- - N$  が観測されるという異常な状態を示した。

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、 $NO_3^- - N$  は  $NH_4^+ - N$  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  $NO_3^- - N$  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  $NO_3^- - N$  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  $NO_3^- - N$  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  $NO_3^- - N$  の消失速度が減少し、かつ  $NH_4^+ - N \rightarrow NO_3^- - N$  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。

これは図 12 にも示されている。この図よりわかるよ

脚注 \* 流達率は次式により算出することもできる。

流達率算定式  $X = 10 \left\{ 2.0 - 0.6896 (0.7688)^{\log Y} \right\}$  X: 流達率 Y: 人口密度 / (流域面積)  $1/2$

表-1 野川観測結果(1977年10月17日)

St	名称	採取時間	河幅	最深	最大	流量	気温	水温	DO	pH	ORP	電導度	濁度	SS
			m	m	m/sec	万ton/day	°C	°C	mg/L		mv	×10 <sup>2</sup> %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 <sub>210</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	※NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -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		

※ E<sub>210</sub> より算出

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NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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。

12月8日の観測で測定されたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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3.8g/m<sup>2</sup> day, 5.2g/m<sup>2</sup> dayの速さでNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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たこの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カ月である10月17日の観測の場合に著しく、約3カ月後の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の負荷量もものと水準に回復するのに3カ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

表-2 野川 観測 結果 (1977年12月8日)

St	名 称	採取時刻	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
1	国分寺	AM 11:52~12:15	m 2.7	m 0.5	m/sec 0.75	万ton/day 3.7	°C 14.0	°C 15.0	mg/L 5.2	7.3	mv 235	×10 <sup>3</sup> %/cm 5.0	mg/L 50	mg/L 27.7
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 <sub>210</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	ABS	備 考
1	国分寺	AM 11:52~12:15	mg/L 17.2	mg/L 17.8	mg/L 49.5	3.6	mg/L 5.5	mg/L 0.45	mg/L 4.8	mg/L 0.49	mg/L 2.0	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	緑色付着深少量あり
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	緑色付着深あり
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	

※ E<sub>210</sub> より算出

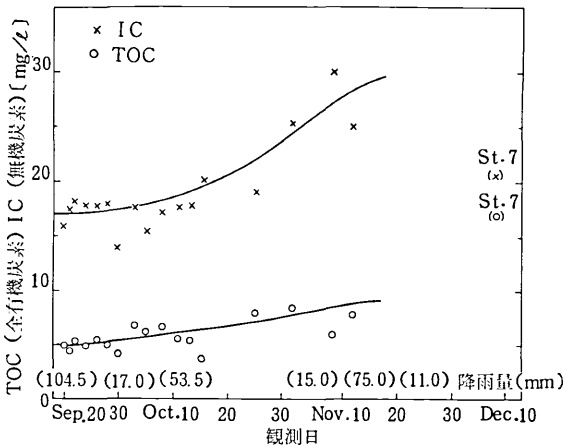


図 13 St. 8 における TOC・IC 濃度変化

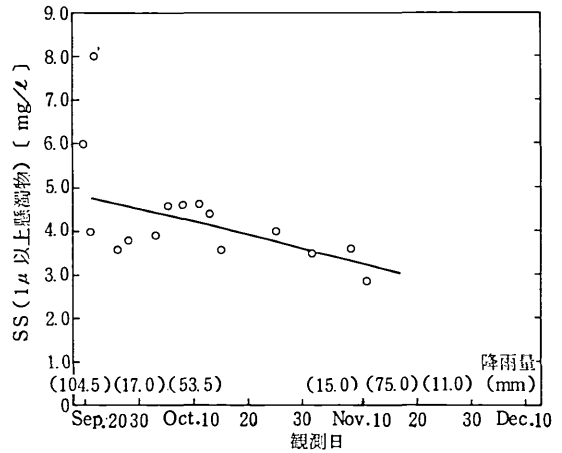


図 14 St. 8 における SS 濃度変化

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カ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(国分寺の発生源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)
- 5) Sverdrup, H.U., M.W. Johnson, and R.H. Fleming; *The Oceans* (1961)

