

都市河川における汚濁物質の挙動に関する研究

—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—

Material Balance of a Polluted Urban River—the Nogawa

鈴木基之*・川島博之*

Motoyuki SUZUKI and Hiroyuki KAWASHIMA

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来たが、著者らは前報^{1),2),3)}において河床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、前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日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-GCT-12Nを用いHeバク気中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TR-120-B)処理水紫外(300mm)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60.1万人⁴⁾人汚水原単位を0.20t/日・人⁴⁾とすると、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

* 東京大学生産技術研究所 第4部

研究速報

表1 測定法一覧

測定項目	原理・方法	使用器機	備考
気温		棒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JDO meter P	
水深		メモリをふった棒	
流速	起電力法	東方電探CM-I	
流量	Σ (流速 \times 断面積)	—	
SS		1 μ 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	クロメトリア法	東亜電波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法 ジクロロエタン抽出法	同上	water, Resarch
E ₂₁₀		Beckman DB-GT	
NH ₄ ⁺ -N	インドフェノール法	湿式分析	海洋観測7) 指針による
NO ₂ ⁻ -N	エチレンジアミン スルファニルアミド	同上	同上
NO ₃ ⁻ -N	カドミカム還元法	同上	同上
TDN	ガスクロ法	住友化学GCT-12N	
PO ₄ ³⁻ -P	リンモリブデン青法	湿式分析	海洋観測7) 指針による
AGP	応徴研法式	自作測定器	文献3)参照
固型物 C:H:N	元素分析	Perkin-Elmer 240	

がある。これは次の2つのことを示すものと思われる。

1) 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1 mg/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1 mg/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.<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の流量変動を示す。SSの流量は時刻と流量の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/日程度の流量は、生活活動によるものと思われる。

同様に図7 a.b, 図8 a.bにTOC, ICの変動を示すが、

表2 日周変動観測結果の例

時刻	気温 (°C)	水温 (°C)	流量 (m ³ /日)	pH (-)	ORP	電導度 (1/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 ₂₁₀ (-)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)
8/2 12:00	32.2	30.5	183	7.35	100	4.2	65	40.0	20.0	14.2	0.038	7.0	3.9	0.47	—	0.89	0.54	0.22	0.50	8.6	0.80	
14:00	33.0	32.0	183	7.50	40	1.15	3.5	60	33.3	22.1	14.3	0.032	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	0.025	4.0	4.8	1.94	—	0.53	0.45	0.01	tr	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	0.030	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	0.028	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	0.030	18.7	4.3	0.47	28.2	0.64	0.23	0.22	0.07	6.7	0.86
8/3 0:00	27.0	26.0	11.7	7.40	30	1.17	0.8	30	17.8	22.1	11.6	0.035	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	11.4	0.020	19.3	4.3	0.64	16.2	0.50	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	-0.025	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	1.06	1.8	40	12.0	23.1	14.6	0.020	14.0	4.0	tr	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	0.025	7.7	3.5	tr	—	0.96	0.45	0.15	0.67	6.7	0.99
9:00	31.0	28.0	7.3	7.50	-30	1.10	4.7	120	86.7	23.1	11.1	0.035	21.0	3.5	20.2	16.0	1.14	0.41	0.20	0.72	8.6	0.81

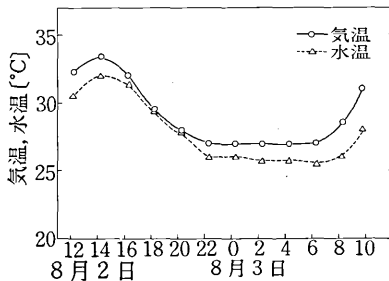


図1 気温、水温日周変動

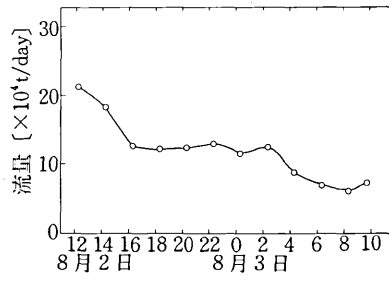


図2 流量日周変動

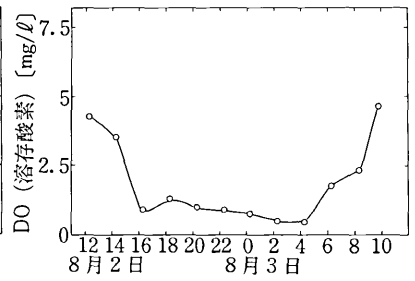


図3 DO日周変動

これらは TOC, IC の流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今後の研究課題となった。

図 10 a.b に ABS の濃度、流量変動を示すが、これは周辺住民の生活活動を直接反映すると思われるピークを持ち、フミン酸などと異なり、その起源が生活活動に直接起因していることを示している。

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⁹⁾のものとは若干の異なりがある。

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。

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 34200 kg/日、流失量 22500 kg/日、T・N 発生量 7300 kg/日、流失量 5140 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、それに附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 0.42g/m²日(元素分析利用)であった。野川に存在する附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 15t 程度、藻類の平均附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。

以上を模式図に表すと図 12 のようになる。BOD については前報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

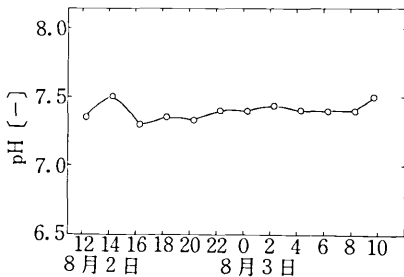


図 4 pH 日周変動

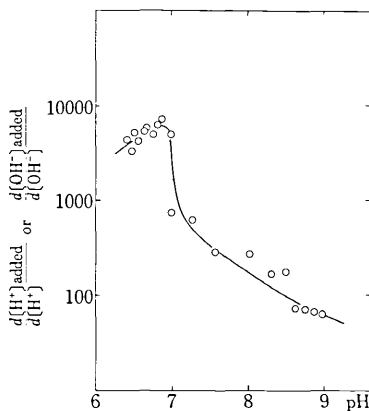


図 5 野川水の pH 緩衝能力 (1979 年 1 月 11 日採取の試料)

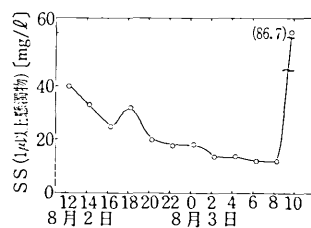
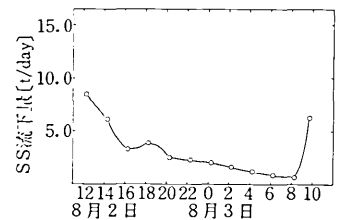


図 6 a. SS 濃度日周変動



b. SS 流量日周変動

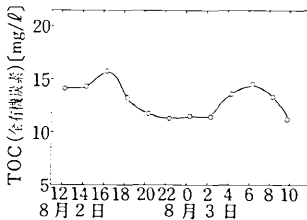
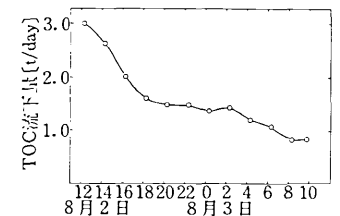


図 7 a. TOC 濃度日周変動



b. TOC 流量日周変動

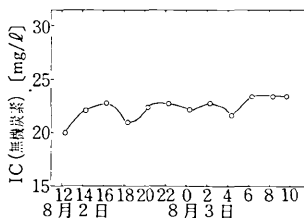
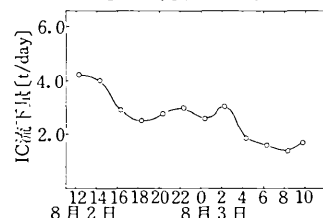


図 8 a. IC 濃度日周変動



b. IC 流量日周変動

研究速報

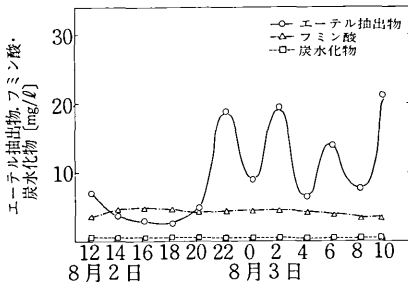


図9 フミン酸, 炭水化物, エーテル抽出物濃度日周変動

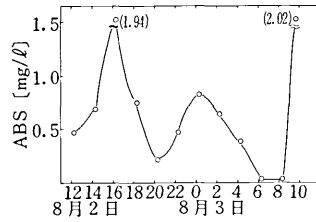


図10 a ABS 濃度日周変動

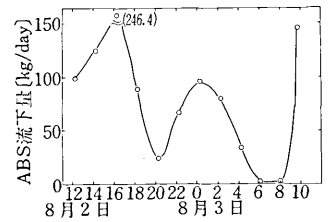


図10 b ABS 流下量日周変動

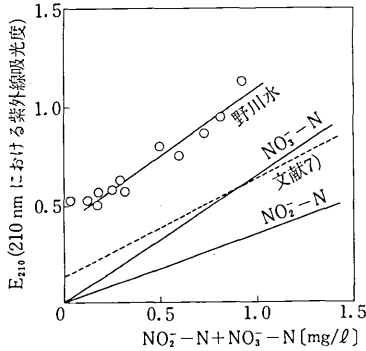


図11 NO₂-N, NO₂-N + NO₃-N 濃度と E₂₁₀ との関係

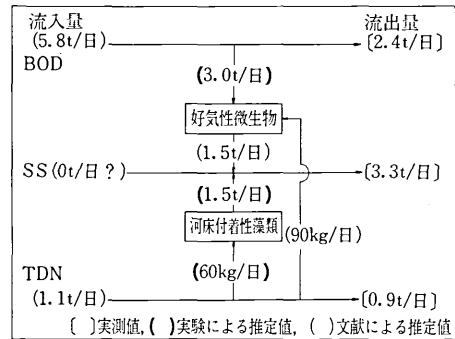


図12 野川における物質収支概念図

表3 24時間積分平均流下量

流 量	流下量	流下量
	1.2×10 ⁵ m ³ /日	NH ₄ ⁺ -N 5.5×10 kg/日
SS	3.3×10 t/日	NO ₂ -N 2.0×10 kg/日
IC	2.6 t/日	NO ₃ -N 2.5×10 kg/日
TOC	1.6 t/日	TDN 9.1×10 ² kg/日
BOD ₅	2.4 t/日	PO ₄ ³⁻ -N 1.0×10 ² kg/日

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た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じて、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になった。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、また好気細菌による分解・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

- 鈴木, 川島, 河添: 生産研究 29, 548 (1977)
- 鈴木, 川島, 藤井: 生産研究 30, 127 (1978)
- 鈴木, 川島: 生産研究 30, 344 (1978)
- 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)
- 日本分析化学会編: 分析化学便覧, 371 丸善 (1971)
- W. Leithe: The Analysis of Organic Pollutants in Water and Waste Water, 188 (1972)
- 海洋観測指針: 気象庁編 (1970)
- 関口, 滝島: 日本化学会誌 4, 642 (1975)