

河川における汚染拡散の研究

UDC 628.515:614.777
551.482.214:543.38

第3報 多摩川における有機汚染の検討

Study on the pollution of the Tama River by organic substances

鈴木基之*・川島博之*・河添邦太朗*

Motoyuki SUZUKI, Hiroyuki KAWASHIMA and Kunitaro KAWAZOE

はじめに

前報^{1),2)}においては主として河川の水中と底質との重金属の相関に着目し底質中の有機物にカドミウムが蓄積されることを明らかにし、水中と底質中の有機物間のカドミウムの分配平衡関係を明らかにした。

底質の有機物に重金属が濃縮され蓄積するということは、有機汚濁物質により汚染の進んだ都市近郊の河川では、その副次的効果として重金属の濃縮が生じる可能性を意味する。

さらに都市近郊河川は、集中的に人口を抱える都市が毎日の生活における背景としての意味を持つ以外に、たとえば災害時に飲用水その他雑用水として依存せねばならぬ水源として地下水と共に無視できぬものである。ま

た沿岸や河川での増養殖を強化する上でも、富栄養化や赤潮の原因となる有機汚染物質を除去する必要がある。以上のことから有機汚染の状況を的確に把握することが、われわれの生活に重要な意味を持ってくるのである。

本報では、前報以後に行なった5回にわたる調査のうち多摩川全域にわたる有機汚染状態の観測及び特に多摩川下流域で汚染の集中している野川からの流入口近傍における水質の時間的な変化を観測した結果についての報告である。

流域における有機汚染の観測

流域の水質の観測は昭和51年4月22日(曇)23日(曇)に行なったもので、その結果を表1に一括して示す。調査点は図1に示すもので、記号A~Qは前回報告にある観

表1 水質調査結果の例

記号	名 称	気温(°C)	水温(°C)	DO(mg/l)	電導度(NaCl)	IC(mg/l)	TOC(mg/l)	E 210	SS(mg/l)	流速(cm/sec)	流量(cm ³ /sec)	備 考
B	丸子橋	16.5	17.0	4.9	0.01	14.5	20.4	0.56	11.6	—	—	深緑色 4/22
C	東急ゴルフ場	16.0	16.3	—	0.005	13.6	18.1	0.39	8.3	0.36	—	深緑色
D	野川下流	17.8	17.0	8.5	tr.	18.2	25.5	0.36	25.9	0.66	3.2	少々透明、支流
E'	二子橋	16.0	16.5	9.7	tr.	14.1	17.6	0.21	22.0	0.97	19	黒色
F	府中用水	17.0	18.0	5.0	0.01	18.2	42.1	0.56	13.0	0.19	0.2	濁色、支流
J	上河原堰	16.3	18.0	10.0	tr.	13.2	15.4	0.90	7.0	0.38	—	少々透明
G	多摩原橋	16.0	18.0	11.3	tr.	9.5	16.7	0.93	19.8	0.80	—	かなり透明
R	是政橋	16.0	17.0	9.6	0	13.6	14.2	0.18	211	—	—	濁色
U	閔戸橋	16.0	17.5	8.8	0	10.9	12.9	0.53	13.0	0.92	32.2	深緑、以下4/23
I	浅川下流	17.8	18.0	9.0	0	15.0	23.1	0.14	26.4	0.41	2.2	深緑、支流
K	日野橋	18.0	—	—	0	15.5	18.6	0.48	16.4	—	—	
K'	残堀川下流	18.0	18.0	7.0	0	16.4	23.3	0.15	14.6	—	—	黒色、支流
T	多摩大橋	18.0	16.5	11.9	0	7.7	8.2	0.34	5.2	0.32	7.4	黒色
N'	秋川下流	16.0	16.0	10.0	0	6.4	3.1	0.20	13.0	1.25	8.5	透 明
S	多摩橋	17.0	18.0	10.7	0	15.5	17.1	0.16	25.3	0.04	—	うす茶色
P'	羽村堰下手	18.5	15.0	14.0	0	5.5	5.6	0.10	2.0	—	—	透 明
P	羽村堰上手	17.5	13.5	13.5	0	5.5	5.6	0.11	2.2	1.0	—	透 明
Q	下奥多摩橋	15.5	11.0	8.4	0	6.4	4.7	0.10	1.6	0.4	6.8	透 明

* 東京大学生産技術研究所 第4部



図1 多摩川流域と観測地点

測点とほぼ同地点である。(K', P', Q, R, S, T, Uは新設地点, E, Nは若干下流へ移動, A, L, Mは廃止した。)

測定は、気温、水温、流速、pH、DO(溶存酸素)、TOC(全有機炭素)、IC(無機炭素)、SS(懸濁物、 1μ 以上の粒状物)及び電気伝導度、紫外線吸光(210nm近傍吸光度、 E_{210})である。各測定項目のうち、TOC、IC、SS、電気伝導度、紫外線吸光は研究室に持ち返って測定したもので、それ以外は現場測定によった。電気伝導度はNational RC oscillatorによる2KHzのConductivity、紫外線吸光はBeckman DBGTを用い光路長10mmセルによった。

流速は浮遊物体の50m流下時間を測定することにより、河川中央部で求めた。以上に記した以外の測定は前報に示した方法によった。

流速及び流下時間

測定した表層の流速をほぼ平均流速と見做し、流下距離から流下時間を算出すると、図2に示すような形となる。図中に比較のために多摩川の標高変化も記してある。表層の流速はほぼ2km/hr程度で中流域でやや流れの速いところが見られるが、ほぼ一様の速度で流れていると考えて良かろう。中層、底層の流速は別の機会に東邦電探の流速計CM-2により閔戸橋において測定した。(昭和51年7月9日、10日)その結果流速は河川の底部で低い値を示す(底から約10cmの位置で表層流速の約1%になっている)ほかはほぼ一様となっていることがわかった。また流速、流量の日変動を測定したが、ほとんど変化が見られなかった。流量は二子橋近辺で約160万トン/日、上流の多摩大橋近辺で64万トン/日程度であった。この値は東京都下水道局の調査結果³⁾とほぼ同じ値であった。多摩川では本流の滞留時間は上流の多摩橋から河口まで

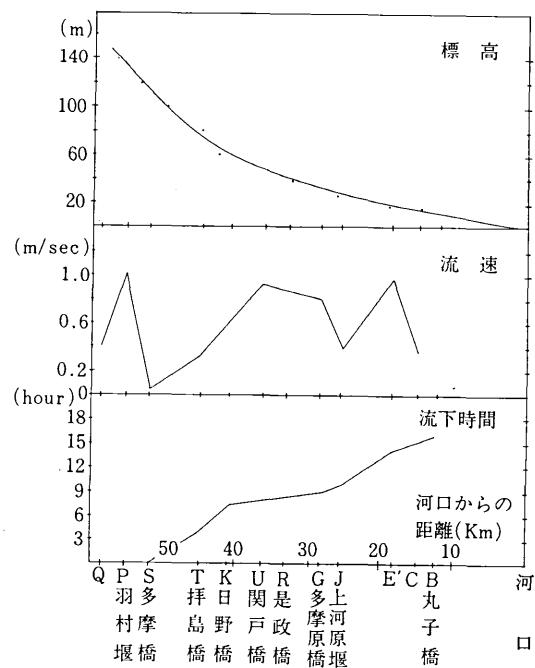
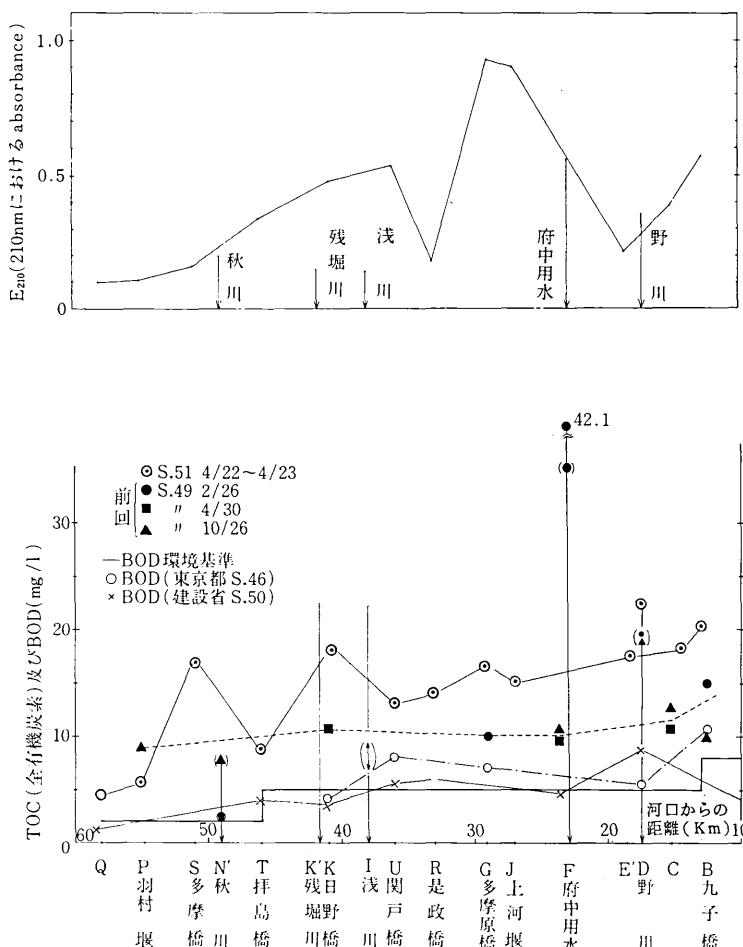


図2 多摩川流域と観測地点

河川中央の中層以上を流下していると仮定して約20時間、野川の合流する二子橋以後河口まで約8時間程度である。このことは海域での浄化作用を別とすれば、浄化作用の議論には数時間から1日程度の短時間における生分解などの自浄作用が重要な因子となることを意味している。また多摩川においては流れが急な上中流の瀬で空気を巻き込む現象が起きており、これは急流による底質のまき上げとともにStreeter-Phelps⁴⁾以来の欧米型の河川モデルが日本の河川にあてはまりにくい本質的原因だと思わ

図3 流域におけるTOC, E_{210} 変化

れる。

流域に沿ったTOCと E_{210} の変化

流域における全有機炭素量(TOC)の分布図を図3下部に示す。前回の報告(1974測定)の結果も図中に示すが、中・下流域でやや増加している傾向が見えるが、1976年4月の測定結果はオーダーとしては、ほぼ等しい。また流域における210nmにおける紫外線吸光度(E_{210})を図3上部に示す。

E_{210} とTOCの関係

波長210nmの紫外線(UV)吸光度(E_{210})は一定の範囲で河川水中の有機物^{5),6)}あるいは硝酸イオン^{7),8),9)}との間に相関が認められている。半谷らは E_{210} とCODの間の相関により天然水の区分けをしているが、この波長域では硝酸イオン(NO_3^-)及び亜硝酸イオン(NO_2^-)の吸収が極めて大きく、それぞれ1ppm水溶液が E_{220}

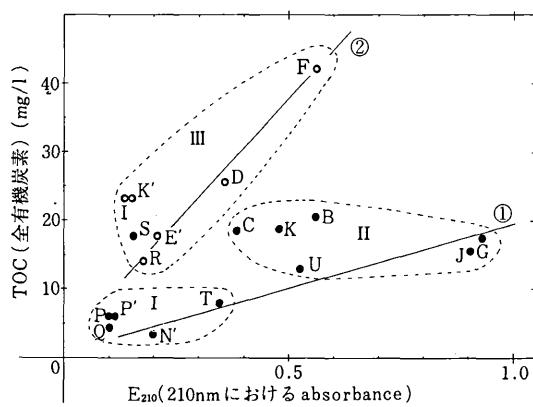
として0.06, 0.09に対応するとされている。多摩川のように汚濁河川においてはこの波長域における吸光度の大部分が硝酸イオンに依存すると考えるのが妥当と思われるが、関口⁹⁾らはこの波長域における紫外吸収スペクトルから

$$E_{210}/E_{220} \geq 1.75 \quad (1)$$

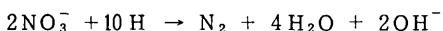
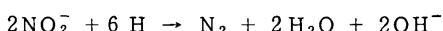
を目安として、この条件が満たされる場合 E_{210} はほぼ100%硝酸イオンによる吸収と見なせることを示している。本測定範囲では(1)の条件を満たすのは、上流、中流の比較的清浄と思われる流域に多く、この条件を満たさぬもの(図4中の○)は支流など下水の影響が強く出ていると思われる地点に多かった。

多摩川における E_{210} とTOCに関する考察

E_{210} とTOCの相関を流域にわたるサンプルについて示すと、図4に示すように相対的に三つのグループに分

図4 水中のTOC-E₂₁₀の相関

かれることが解かる。グループIはTOC・E₂₁₀共に比較的小さい値を示し、上流域がこのグループに属する。グループIIは中・下流域の水であり、TOC・E₂₁₀共に比較的高い値となっている。グループIIIはTOCが高く、E₂₁₀は低く、ここに属する水は(1)の条件を満たさぬものが多い。このグループは野川、府中用水など汚染状況の極めて高い水域に対応している。この図からQ, T, J, G(直線①)に沿って流下する多摩川にR, E', D, F(直線②)の水が影響してB, C, Kなどの水質を形成していることがわかる。さて流下方向に沿ってE₂₁₀とTOCの関係を考察すると次のようなことがいえると思われる。QやP地点では清浄だった多摩川はSやK地点で見られるように下水の影響を受けてTOC濃度が上昇する。だが増加した有機物は生分解作用を受けるためT, Uでは下降傾向を示す。これと同時に下水の流入した多摩川本流では生分解にやや遅延して硝酸化が生じていると考えられSからUまでNO₃⁻やNO₂⁻に対応するE₂₁₀が上昇傾向を示す。R(是政橋)でE₂₁₀が急激に減少している理由は是政悪水と呼ばれる多量の下水の混入による稀釈効果と後述する底質付着の藻による光合成効果によると考えられる。下水の混入によりRからGへ流下する間において硝酸化が活発に起こりまた活性汚泥処理の結果として硝酸化が進んだE₂₁₀の値の高い下水処理水が流入するためにJ, G流域では高いE₂₁₀を観測したと思われる。しかしE'に至るとE₂₁₀は急激に減少する。これはNO₃⁻やNO₂⁻濃度が減少することを示していると思われるが、杉木³⁾によれば水中のNO₃⁻やNO₂⁻の消費には二つのケースが考えられ、一つは嫌気性脱窒菌による嫌気性下での下記のような生物還元でありこの反応によって窒素がN₂ガスとして空気中へ放出される場合である。



もう一つのケースは、一部の細菌、菌類、藻類、藍藻類、

高等植物の一部が炭酸同化作用により生じた炭水化物及び窒素を含む無機物からアミノ酸を合成する窒素同化の過程でNO₃⁻やNO₂⁻を消費するケースである。以上の二つを検討するにGからE'の流域ではDO値が9.7~11.3mg/lと高いことを考えればアミノ酸合成の過程によるNO₂⁻やNO₃⁻の消費と考えることがより妥当であろう。こう考えればE'とRにおけるE₂₁₀の減少は底質に付着した藻類の窒素同化によるためと考えることができる。このことはRとGからEにかけての流域では多摩川が浅い瀬となって流れおり、光合成に有利な条件となっていること、R地点では底質に多量の藻が付着していたこと(この藻は死滅して一部浮遊しておりR地点でのSSが異常に大きいことの原因になっていると思われる)また後述するように10月27, 28日の観測でY地点(E'地点の少し下流)において高いDO値が観測されたことによって傍証できると思われる。E'より下流域では川は比較的深くゆっくり流れため底質付着の藻類の光合成には光がとどきにくく不利な条件となるため硝酸化の方が支配的となりNO₃⁻の濃度が上昇してゆくものと考えることが可能である。

この典型的な3種のパターンは、グループIが清澄水域、IIが中下流の中汚染域、IIIは汚濁水に相当すると考えられるが、特にIIIに属する野川が多摩川本流に流入することにより汚濁負荷としてどのような効果を与えてるのかについて合流点近傍の水質の特に時間的変動からの状況を明らかにすることを次の目的とした。

野川合流部における時間変動

図5に示す三地点、すなわち野川合流点の近傍で昭和51年10月27, 28日に以下の観測を行なった。野川の流れにX、本流の二子橋上流部にY、合流点の下流約2kmの第3京浜多摩大橋下部Zにおいて継続観測を前に示した項目について行なった。測定に際しては、ベースキャン

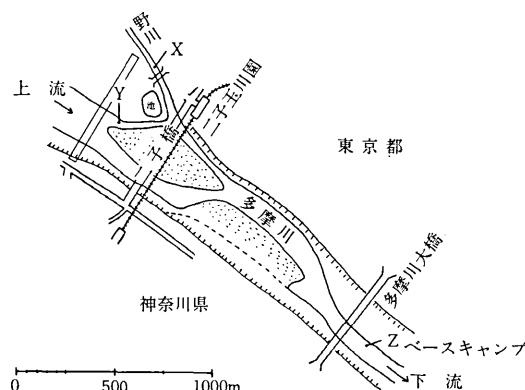


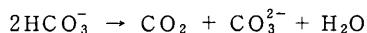
図5 野川合流部近辺略図

をZ点において設営し、ORP、DOの連続記録を行ない、また連続採水(1.8l/hr, 住友化学式サンプラーによる)し、ほぼ3時間ごとに、X、Y点へ出向いて必要項目測定及び採水を行なった。電気伝導度、濁度、pH、ORPは京都電子工業のWP-02によった。またORPの連続測定にはTOAのPHメーターHM-20Bを使用した。DOは東芝ベックマン社のFieldlab及び給水化学社のJ-DOメーターPによった。

測定結果の検討

この測定結果を図6に集約して示す。特徴的なことは水温、pH、ORPに関してはX、Y、Z点の間に際立った差異は見られなかった。X点が他の二点と大きく異なるのはTOC、IC、濁度が予想通り高い値を示したこと、電気伝導度が高く、DO、UVが低い値を示した点にあり、Y地点のDOが特徴的な時間変動を示しているのは明らかに光合成作用によるものと思われる。溶存酸素が飽和濃度以上になっているのが興味深い。これについてO'Connell¹¹⁾らはTruckee RiverのDO変動についての研究に際に都市下水が流入した後はNやPなどの栄養塩が増加し底質に付着した藻が日光のあたる浅

い瀬の部分で急激に光合成を行なうためだとしている。Y地点は中流域で都市下水が流入し、かつ長い瀬の部分であり上記の理論で説明できると思われる。X地点のDOは昼間でも7ppm以下と低く、有機物の生物的酸化による消費を示唆している。このためICも上昇していると思われる。ここでICについてふれれば、全観測を通じてICはTOCとよい相関が見られた。このことは多摩川全流域で常に有機物の生物分解が起こっていることの傍証となると考えられる。pHはX、Y、Z各点で、日中アルカリ性となり夜間は中性となる傾向が見られた。これ⁴⁾はプランクトンによる光合成が行なわれたため水中のCO₂が消費され HCO₃⁻が分解して次の反応が起きたためと思われる。



このpHの変動も生物による有機物分解の存在を示している。野川(X地点)のTOC、E₂₁₀の変化を図4と対比してみると、深夜、野川に対する有機汚染負荷の低下に伴い有機物の酸化と同時に硝酸化がわずかに上昇し、これが朝方のE₂₁₀の増加になって現われているように思われる。すなわち図4に見られた高汚濁水グループⅢに

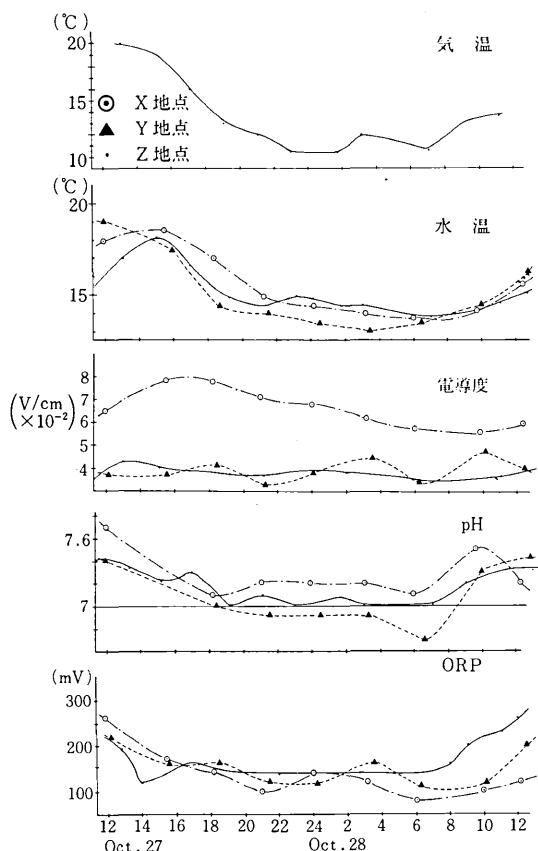
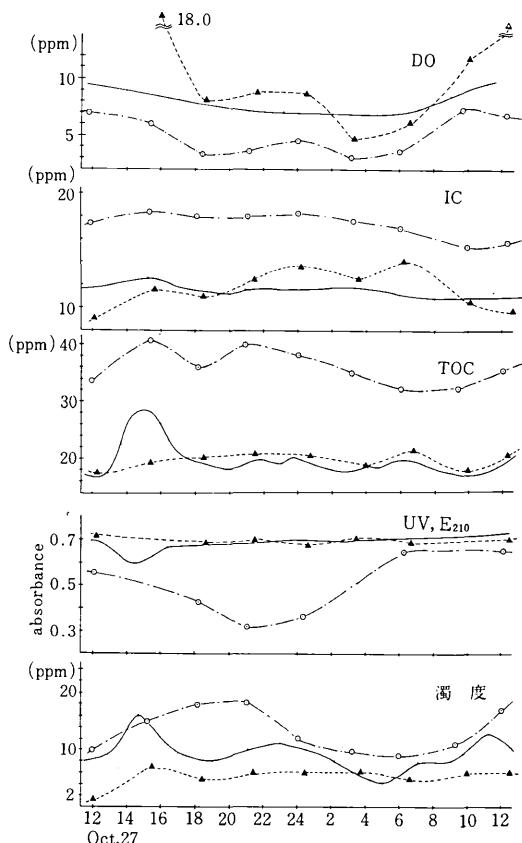


図6 水 質



日 变 动

おいては有機物の酸化が硝酸化に優先するために E_{210} が低い値を示し、有機物の低下に伴なって硝酸化が開始することによる E_{210} の増加がグループⅢからグループⅡへの遷移となると考えることもできよう。午後3時頃のZ地点におけるTOC、濁度のピークは予期せぬ河川の揚水実験がX、Zの中間地点で30分程度行なわれたための底泥の巻き上げによるものであり、本質的な意味を有するものではない。野川の流量は多摩川二子橋部の約1/4であり、X、Y、Z三点における観測に関する限り、Z点に対する野川の影響はTOC、UV、電気伝導度などに関する限り、Xほど大きく現われてはいない。しかし濁度ではその影響を窺うことができ、溶存態物質より粒状物質の方が汚濁負荷の収支効果を明確に示しているように見える。この点はさらに詳細に検討を加える必要がある。

おわりに

以上多摩川における有機物と NO_3^- との関係について、TOC測定及び E_{210} から推定して検討を加え、その結果及び若干の考察を報告した。有機汚染がわれわれに与える害としては、前報で報告した重金属濃縮効果を別にすれば、赤潮や沿岸漁業への害が主である。これについては有機物自身よりもNやPなどの栄養塩の方が大きな影響を与える。このことは廃水の三次処理問題とも関連し今後ますます重要な問題となってくると考えられる。しかし、河川中のNやPが有機物や生物とどのように関連

して移動するかについては未知の問題が多く、今後の研究に待たねばならず、目下継続研究中である。

本研究を行なうに当りご協力頂いた本所第4部鈴木研究室技官茅原一之(4, 7, 10月観測)、同藤井隆夫(4, 7, 10月観測及び分析)東京大学大学院生河村隆文(4, 7, 10月観測)同杉谷和俊(4, 7, 10月観測)本所元研究員多田敬幸(4, 7月観測)神奈川大学工学部長岡直(4, 7月観測)の各氏に厚く御礼申し上げます。

(1977年1月12日受理)

参考文献

- 1) 鈴木、山田、宮崎、河添：生産研究 27, 108 (1975).
- 2) 鈴木、山田、河添：生産研究、28, 92 (1976).
- 3) 多摩川流域水質汚濁調査報告書(昭和48年3月)東京下水道局.
- 4) 杉木 昭典、「水質汚濁」、技報堂 (1974).
- 5) Richard, A. D., et al; Water Research, 6, 1173 (1972).
- 6) Hoather, R. C., & Rackham, R. F.; Analyst, 84, 548 (1959).
- 7) Goldman, E., & Jacobs, R; J. AWWA, 59, 187 (1961).
- 8) Foster, P. & Morris, A. W., Water Research, 8, 137 (1974).
- 9) 関口、滝島；日本化学会誌(1975)No 4., 642.
- 10) 半谷、安部；「水質汚濁研究法」丸善(1972) p.267.
- 11) Richard L.O'Connell, et al; Journal of Sanitary-Engineering Division (1965) SA, 3.

