

5. トレーサーによる河川汚染の解析について

正員 工博 京都大学工学部衛生工学教室 岩 井 重 久

正員 工博 京都大学工学部衛生工学教室 井 上 頼 輝

正員 工修 京都大学工学部衛生工学教室 寺 島 泰

1. 緒 言

最近ようやく公害問題が世の注視を浴びるようになり、また第2回国際水質汚濁研究会議を昨年東京で持つことができてこの方面における日本の研究成果が国際的に評価されたことは喜ばしい。しかし、わが国における河海汚濁の研究はようやくその緒についた感があり、まだまだ基礎的な研究をつみ重ねる必要があるように考えられる。本研究は主として水理学の面より河川汚濁をとり上げ、第2章で理論の展開、ことに現象を単純化した場合の河川汚濁の基礎式を示し、また複雑な河川に対しては、基礎式をそれに見合う条件下に解くことは数学的に困難であるので、トレーサーを用いて河水の拡散希釈実験を行ない、一方室内実験によって河川の自浄係数を知ることにより河川の自浄作用を究明しうることを示した。第3章においては最も簡単な矩形断面実験用水路について実験を行ない、種々の拡散係数の測定法を比較検討し、ついでこれよりも Scale の少し大きい水道用水路についての実験結果を示し、上記のようなトレーサーによる河川汚濁の解析の可否を検討した。この結果、基本式の自浄項は、汚水が河川水中でかなりの時間、少なくとも1日以上滞留してから適用できるものであり、流下時間の短い小河川にあってはこの自浄項を書きかえる必要があるように考えられたので、Dobbins-¹⁾²⁾南部等の開発した河川自浄作用の測定装置により、蔗糖, glucose, Ammonium Acetate につき自浄作用を測定し、最初の数時間はBODの時間曲線と同じく time-lag の現象があることを示した。

2. 理 論

河川中の有機汚染物の濃度を C としたときに，その変化は良く知られるようにつぎの式で表わせる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \\ & - \frac{\partial}{\partial x} (V_x C) - \frac{\partial}{\partial y} (V_y C) - \frac{\partial}{\partial z} (V_z C) - \lambda C \end{aligned} \quad (1)$$

ここに， D_x, D_y, D_z ； V_x, V_y, V_z はそれぞれ x, y, z 方向の拡散係数および河川の流速， λ は汚染物の自己減衰係数（脱酸素反応恒数）である。この式に適当な境界条件，初期条件を与えて解けば，河川水中における汚濁物質の濃度の変化を求めることができる。しかし， D_x, D_y, D_z ； V_x, V_y, V_z の複雑な変化を(1)式に入れて解析することは数学的に困難であるので，現象を非常に簡略化した上で解析解を求めることが多い。その一つは，拡散係数 D_x, D_y, D_z および自己減衰係数 λ は一定であるとし，また流下方向として x 軸をとることにより， $V_y = V_z = 0$ とし，流下方向の流速は全断面一様であるとするものである。いまこうした場合についての解を求めてみよう。

1) - 1 河川横断面内に均等分布するように瞬間的に汚染物が放流された場合。

橋の上に汚染物を溶解させた容器を多く置き，これを同時に河川全断面にわたって投入した場合に相当する。

基礎式は

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_x C - \lambda C \quad (2)$$

であり，その解はつぎのようになる。

$$C = \frac{M}{2A\sqrt{\pi D_x t}} \exp \left\{ -\frac{(x - V_x t)^2}{4D_x t} - \lambda t \right\} \quad (3)$$

ここに M は汚染物投入量， A は河川の断面積である。なお，汚水投入が瞬

時に行なわれず，ある瞬間間隔をもった場合³⁾に関しては，岩井，合田等の研究がある。

1)-2 河川横断面内に均等分布するように，連続的に汚染物が放流された場合

Diffuser を用いて河川全断面にわたり汚水を放流する場合に相当する。単位時間に q なる量の汚染物が流入する場合には，解は簡単であって次のようになる。

$$C = \frac{q}{v_x A} e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (4)$$

2)-1 無限にひろがる一方向の流れに瞬間的に汚染物を入れた場合
幅の広い水路にインクを一滴落した場合に相当し，汚染物は楕円形に拡がる。z 方向（深さ方向）の拡散を無視すれば基礎式は

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - \lambda c \quad \dots\dots\dots (5)$$

となり，その解は

$$C = \frac{M}{4\pi dt \sqrt{D_x D_y}} \exp \left[-\frac{1}{4t} \left\{ \frac{(x - v_x t)^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} \right\} - \lambda t \right] \quad \dots\dots\dots (6)$$

で与えられる。ここに d は混合深さ (mixing depth) とよばれるものである。

2)-2 同上で連続的に汚染物が投入されたとき。

極座標を用い， q を単位時間に投入される汚染物の量 r を投入点から問題の点までの radius， θ を流下方向と radius r のなす角， $D_x = D_y = D$ とし，現象を2次元的に考えれば，次の解を得る。

$$C = \frac{q}{4\pi D r d} \exp \left\{ -\frac{v_x r}{2D} (1 - \cos \theta) - \lambda t \right\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

3)-1 平滑で一様な水路の一点に汚染物質が投入されたとき。

普通の摩擦のある水路については解を求めることができないので、完全に平滑な水路について考える。いま図-1のように、投入点 A_0 の、水路の壁に対する鏡像 $A_1, A_2, A_3, \dots$ をとり、水路の壁をとり除き、 $A_0, A_1, A_2, \dots$ の各々に M なる量の汚染物を同時に投入したときの下流の濃度を考え、そのうち水路の中にあるもののみを考えれば、それが解となる。川巾を B_{YL} 、川岸より b のところに汚染物を入れたとすると

$$C = \frac{M}{4\pi dt \sqrt{D_x D_y}} e^{-\frac{(x-v_x t)^2}{4tD_x} - \lambda t} \left\{ \frac{y^2}{e^{-4tD_y}} + e^{-\frac{(y-2b)^2}{4tD_y}} + e^{-\frac{(y-2B+2b)^2}{4tD_y}} + \dots \right\} \quad (8)$$

ただし、 $b \geq y \geq b - B$

これを証明してみよう。 $A_0, A_1, A_2, A_3, \dots$ に、個々に M なる量の汚染物を投入したときの各々の解は基礎式(5)を満足するから、その和(8)も基礎式(5)を満足する。

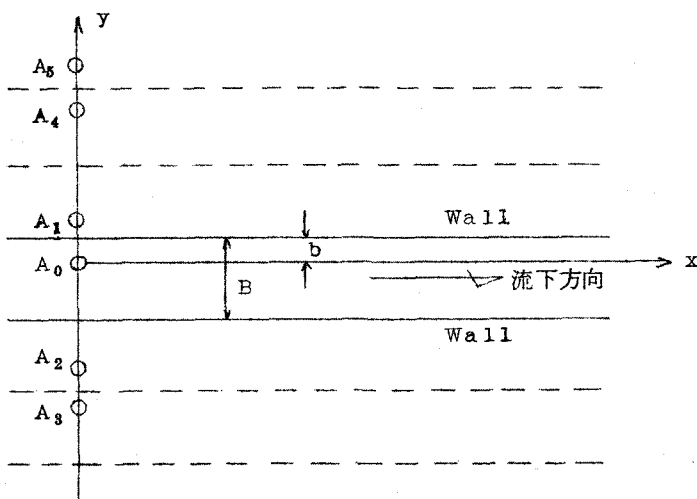


図-1 平滑な壁をもつ水路の拡散

次に A_0 と、その鏡像 A_1 について考えると、対称性より

$$C(x, y, t) = C(x, 2b - y, t)$$

y で微分して

$$\frac{\partial C(x, b, t)}{\partial y} = - \frac{\partial C(x, 2b - y, t)}{\partial y}$$

ところで、壁のところ、 $y = b$ においては

$$\frac{\partial C(x, b, t)}{\partial y} = - \frac{\partial C(x, b, t)}{\partial y}$$

$$\text{ゆえに} \quad \left. \frac{\partial C}{\partial y} \right|_{y=b} = 0$$

このことは壁を通しての物質の出入りはないことを示している。同様に A_2 と A_4 , A_8 と A_6 も打ち消し合うために、壁の内部だけを考えれば、 A_0 に投入された汚染物量 M は保存されていることがわかる。よって(8)式が解であることが明らかである。なお、(8)式を変形すれば容易に次の2つの場合の解が求まる。

もし川の中央に汚染物を投入したのであれば、

$$C = \frac{M}{4\pi dt \sqrt{D_x D_y}} e^{-\frac{(x-v_x t)^2}{4D_x t}} - \lambda t \left\{ e^{-\frac{y^2}{4D_y t}} + 2e^{-\frac{(y-B)^2}{4D_y t}} + 2e^{-\frac{(y+B)^2}{4D_y t}} + \dots \right\} \quad (9)$$

川岸に汚染物を投入したのであれば

$$C = \frac{M}{2\pi dt \sqrt{D_x D_y}} e^{-\frac{(x-v_x t)^2}{4D_x t}} - \lambda t \left\{ e^{-\frac{y^2}{4D_y t}} + e^{-\frac{(y-2B)^2}{4D_y t}} \right\}$$

$$+ e^{-\frac{(y+2B)^2}{4D_y t}} + \dots \left\} \dots\dots\dots (10)$$

なおこの場合に関しては南部博士のくわしい研究がある。⁴⁾⁵⁾

3)-2 水路中に汚染物を連続投入したとき。

3)-1の例にならえば解はつきのようになる。

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{q}{4\pi D r_i} \exp \left\{ -\frac{V_x r_i}{2D} (1 - \cos \theta_i) \right\} \dots\dots\dots (11)$$

ここに,

$$r_1^2 = x^2 + y^2, \quad r_2^2 = x^2 + (2b - y)^2, \quad r_3^2 = x^2 + (2B + y - 2b)^2$$

$$\cos \theta_1 = \frac{x}{r_1}, \quad \cos \theta_2 = \frac{x}{r_2}, \quad \cos \theta_3 = \frac{x}{r_3}$$

さて、実際の河川においては完全に平滑な水路はなく、底面摩擦、水路の屈曲、などの影響があり、このために上に述べたような河川水の流下状態を単純化した場合の自浄式を実際にあてはめると、精度が悪いことが多い。そこでトレーサーにより水の拡散希釈状態を調べた上で、その結果から河川の自浄作用を、半理論的に導き出すことが考えられる。いま(1)式で $C = \bar{C} e^{\lambda t}$ とおくと、汚濁物質の自己減衰を示す項が消去せられ、河川水の拡散混合のみを示す式となる。そこで、河川に廃水と同一条件下で、あるいは廃水とともに Tritiated Water や Uranine などの tracer を投入することにより、汚濁物質の拡散混合を知り、これをもとにして河川の自浄作用を知ることができる。このことに関しては、第4章に実験的研究の結果を示す。また、上の操作をするには、自浄係数 λ を知らねばならず、それには河川で汚濁物質が酸化されるのと全く同様に、酸化の進むような装置を用意することが必要である。このことに関しては第5章で述べることにする。

3. 水路実験

まず手はじめに、模型水路による実験を行なった。水路は幅 25 cm, 長さ 15.5 m の矩形水路で、これに水道水を 288 ml/sec の割合で流した。tracer としては赤い色素である Rhodamine B を用い、その 1000 ppm 溶液を 74.1 ml, 流入口に投入し、流出口で一定時間間隔で採水して、Rhodamine 濃度を島津-Boschrom 光電比色計により、波長 547 μ で比色定量した。流入口から流出口まで tracer が達するに要する時間はわずか 4 分ていどであるので、自浄作用をこの水路で求めることはできず、拡散係数を求めるのみに止めた。流出口の Rhodamine の濃度-時間曲線を図-2 に示す。流入口に 74.1 mg の Rhodamine が投入されたが、流出口で 74.2 mg の Rhodamine が観測された。実験誤差をふくめて、Rhodamine は沈澱、吸着されることなく、全部観測されたとみてよい。最高濃度は流入口に Rhodamine を投入後 91 sec に 9.4 ppm を示しているのので(3)式より D を求めれば

$$D = \frac{M^2}{4A^2 \pi t C_{\max}^2} = 190 \text{ cm}^2/\text{sec} \quad (12)$$

を得る。この D の値を用いて、(3)式により理論曲線を求めれば、図-2 の点線のようになり、理論と実験値は t の大きいところを除き定性的にも定量的にもよく合致している。t が 120 sec 以上のとき、実験値が理論値より大きくなるのは、2 次流によるものと考えられる。

以上は Rhodamine の流出時間曲線の peak をとらえて拡散係数を求めたものであるが、この他にもいくつかの D の決定法がある。いま(3)式を変形すれば

$$\ln C \sqrt{t} - \ln \frac{1}{2A \sqrt{\pi D_x}} = -\frac{(x - v_x t)^2}{4 D_x t} \quad (13)$$

となり、したがって図-3 のごとく、 $\ln C \sqrt{t}$ と $(x - v_x t)^2 / 4 D_x t$ を Plot しその直線の勾配から D を求めることができる。得られた D は、

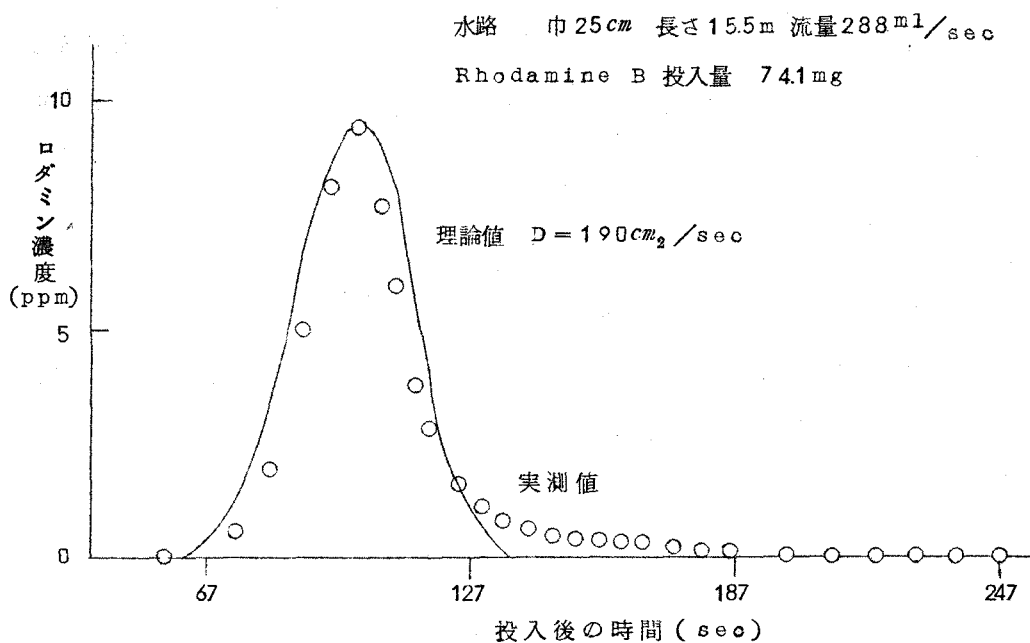


図 - 2 矩形水路における Rhodamine の拡散

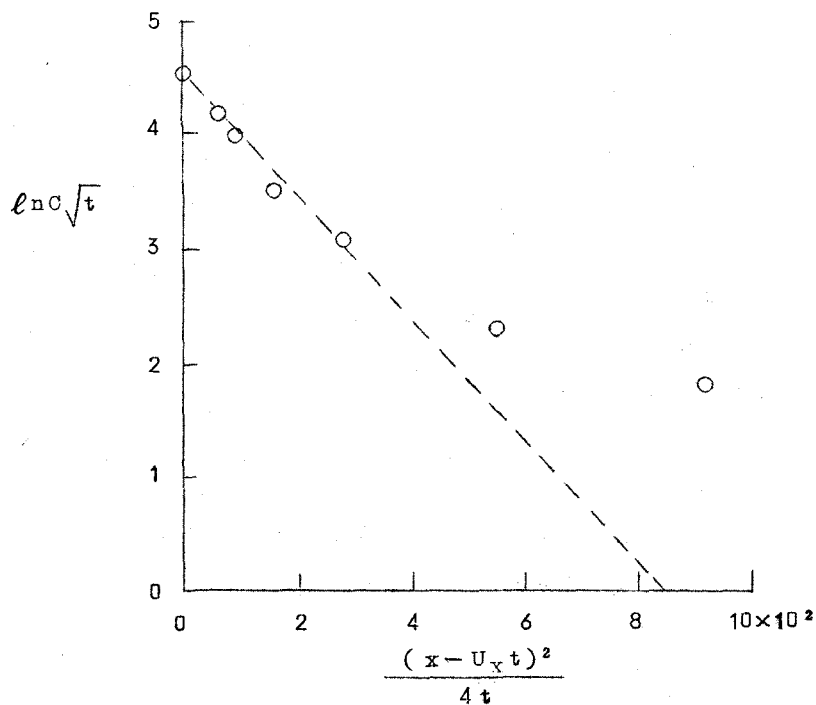


図 - 3 拡散係数の決定

$D = 19.6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ で、前の実測値とももちろんよく合致する。

また、写真を用いるか、あるいは観測者の肉眼で色素が眼に見えなくなる時間は、位置を求めることにより拡散係数を求める方法がある。すなわち拡散希釈により、時間 t_0 のときに色素が眼に見えなくなったとすると、そのときの色素の濃度を C' とすれば

$$\frac{M}{2A\sqrt{\pi D_x t_0}} = C' = \frac{M}{2A\sqrt{\pi D_x t_1}} e^{-\frac{(x_1 - v_x t_1)^2}{4 D_x t_1}} \quad (14)$$

他の場所 x_1 で、色素の見えはじめる時間（または色素が通過して見えなくなる時間） t_1 を観測すれば、

$$D = \frac{(x_1 - v_x t_1)^2}{2 t_1 \ln \frac{t_1}{t_0}} \quad (15)$$

より D が求まる。

水路の底に白紙を張り、流入口より 2.67 m, 6.00 m, 10.0 m, 14.0 m のところでそれぞれ観測員が cloud の到達時間、および眼で見て cloud の見えなくなる時間を 5 回測定して平均したところ、表-1 の結果を得た。

表-1 色素集団の到達時間

流入口よりの距離 (m)	2.67	6.00	10.00	14.00
色素の見え始める時間 (sec)	12.26	30.2	47.2	—
色素の消える時間 (sec)	18.24	37.0	70.74	—

14 m のところは丁度色素の見えなくなる限界であつた。観測者の個人差を無視してこの値より拡散係数を求めると表-2 のようになる。

表 - 2 拡 散 係 数

流入口よりの距離(m)	2.67	6.00	10.00
色素の見え始める時間より求めたもの	$102 \text{ cm}^2/\text{sec}$	125	748
色素の消える時間より求めたもの	33.7	14.2	1930

水路は一樣であるので、拡散係数が水路の部分によって異なることは考えられず、このために上のように拡散係数が場所により異なった値になるのは、色素が見えなくなると云うかなり個人の感覚に影響される index を用いたために出た実験誤差であると考えられる。色素の消える時間より求めた拡散係数が、見えはじめる時間より求めた係数より小さいのは、2次流の影響である。また色素の比較的明瞭に見える流下距離の短いところの観測が、より正確な拡散係数を与えるようである。いずれにしてもこの方法は、tracer を定量する方法に比較して、精度がはるかに落ちることは明らかである。

4. 疏水による実験

水路による実験では、流下時間があまりにも短くて河川の自浄作用を測定するにはいたらなかった。そこで、かなり流下時間があり、かつほぼ一樣の横断面をもつ京都疏水により実験し、(3)式が正しいものかどうかを確かめる他に、第2章の理論で述べたようにトレーサーにより疏水の拡散希釈状態を知り、その結果に $e^{-\lambda t}$ を乗ずることにより、河川の自浄作用を知り得るものかどうかを検討しようとした。なおその成果の一部はすでに発表した。⁶⁾⁷⁾ 京都疏水は底幅9m、両側3分勾配石垣積、水深は約2mで、京都の二条から伏見桃山までほぼ一直線に流れており、途中で流入する河川はほとんど無い。流量は琵琶湖取水口の堰で一定に調節されており、実験当日の流量は $13.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。5KgのUranine と 120Kgの砂糖とを川端二条で疏水に投入し、以後下流0.45, 2.12, 4.2, 7.5, 10.3 Km の地点で採水し、Uranine 濃度は島津コタキ光電比色計により測定した。また砂

糖は、資料 2 ml を Anthrone 1.6% 酢酸エチル溶液 0.5 ml に硫酸 5 ml を加えてよく振とうし、10分後の発色を 620μ の波長で島津光電比色計により定量した。各測点についての測定結果を図4～8に示す。まず色素である Uranine の拡散状態をみると、各測点における tracer 通過量は表一3のようになり、tracer にはほぼ観測点を100%通過している。

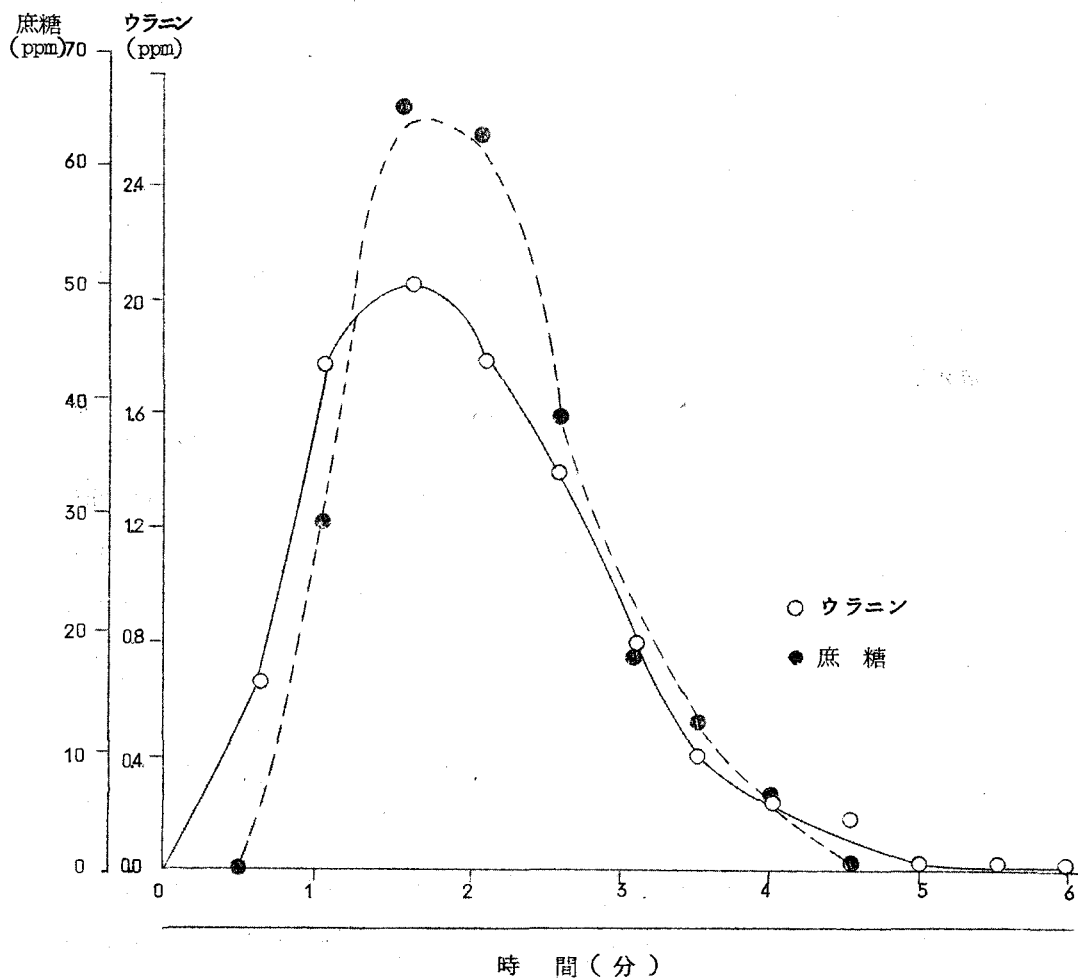


図-4 ウラニンと蔗糖の拡散，御池地点

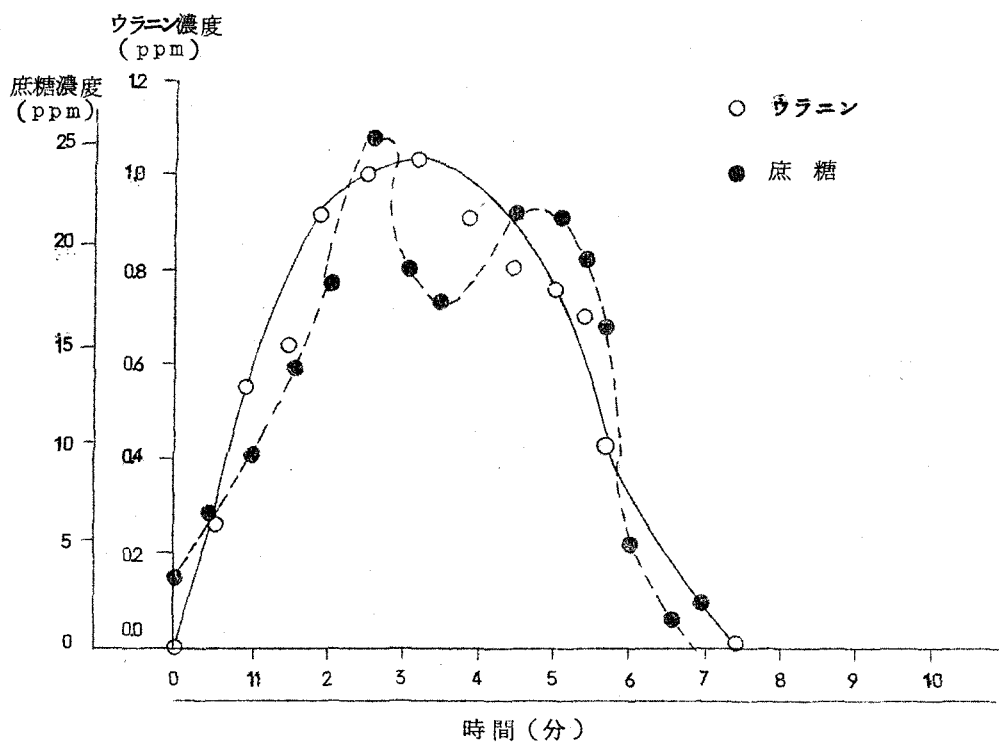


図-5 ウランと蔗糖の拡散，五条地点

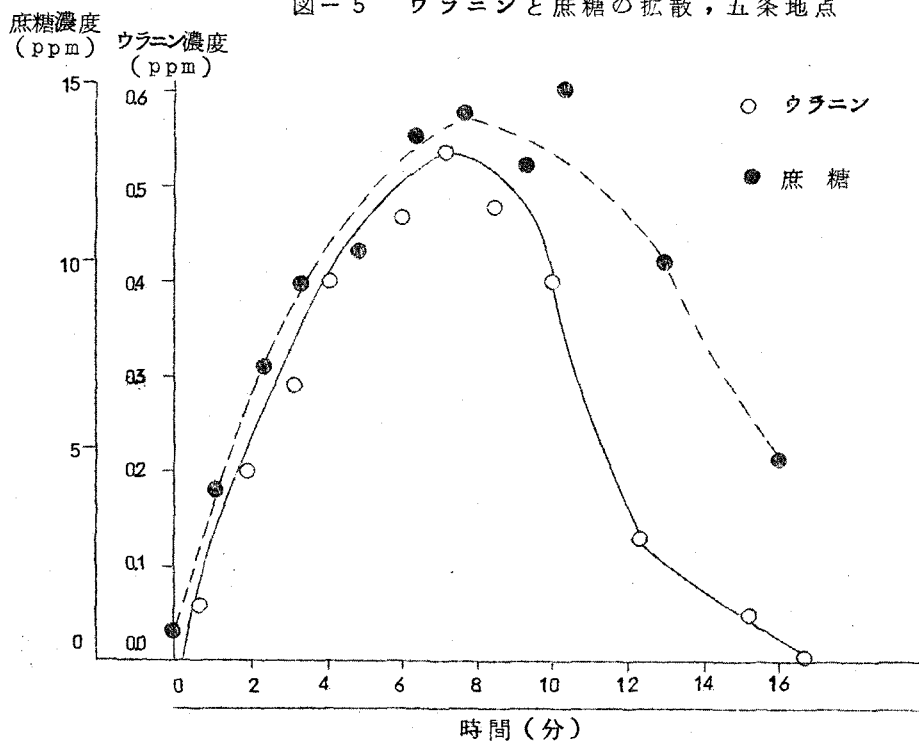


図-6 ウランと蔗糖の拡散，九条地点

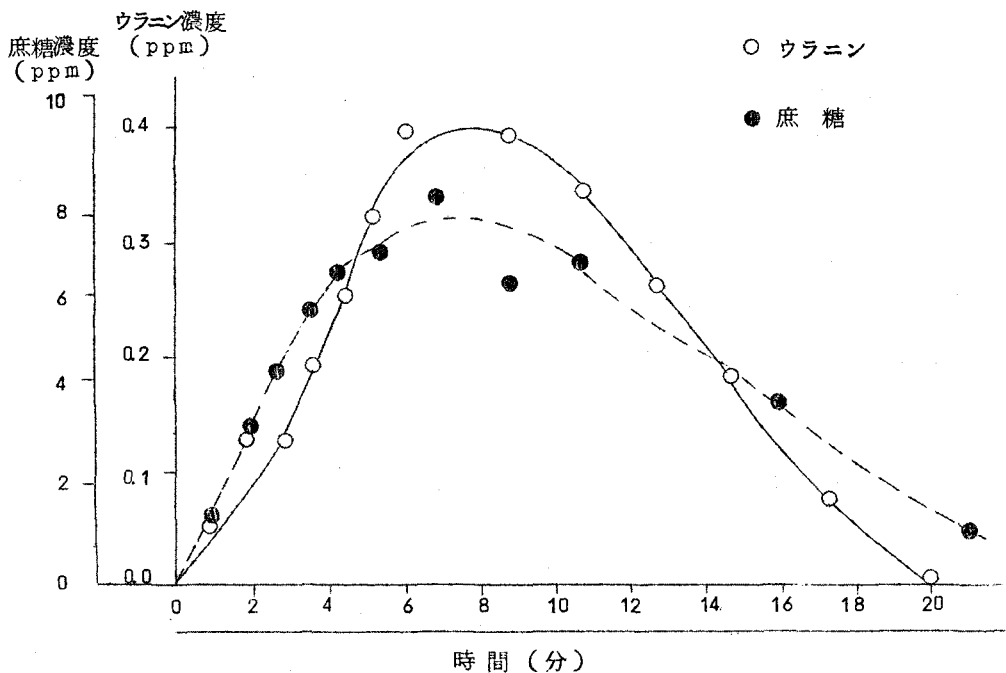


図-7 ウランと蔗糖の拡散，墨染地点

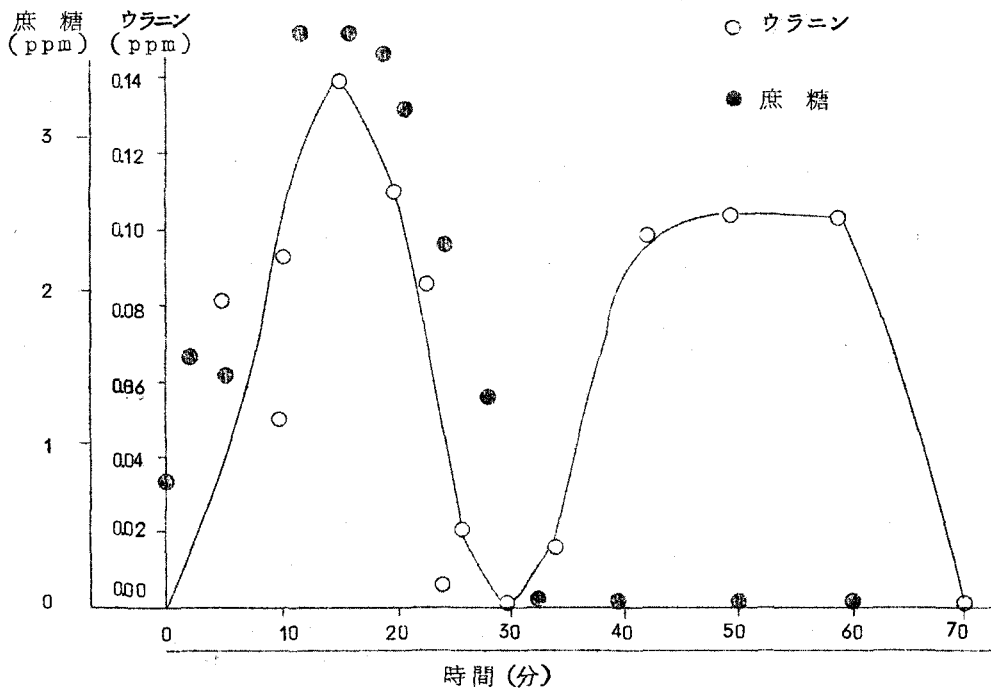


図-8 ウランと蔗糖の拡散，桃山地点

表-3 各測点における tracer 通過量

測 点		tracer 通過料 ※
地 名	流 下 距 離	
御 池	0.45 Km	108
五 条	2.12	98
九 条	4.2	103
墨 染	7.5	102
桃 山	10.3	102

※投入量を100とした値

ところで、第3章と同様の方法により各測点の Uranine 濃度の peak 値から拡散係数 D を求めると、表-4 のごとくになった。

表-4 京 都 疏 水 の 拡 散 係 数

測 点		拡 散 係 数 (cm^2/sec)
地 名	流 下 距 離	
御 池	0.45 Km	3780
五 条	2.12	2620
九 条	4.2	3000
墨 染	7.5	2940
桃 山	10.3	4640

各測点の値により計算した拡散係数は、少なからず変動することが予測されたが、上に見るように係数はほぼ一定の値を示し、良い結果を得た。なお、³⁾南部等が昭和31年にやはり京都疏水の師団橋地点(墨染より1Km 上流)

で求めた拡散係数は、流量 $12.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ のときに $3330 \text{ cm}^2/\text{sec}$ であり、本実験の値ときわめてよく一致している。

ところで、砂糖の各測点通過量は理論的には時間とともに減少すべきであるが、それが見られなかった。これは λ の値がきわめて小さいのか、あるいは砂糖のような物質はそれを微生物が分解するのに時間がかかり、このために BOD 曲線の time-lag と同様な現象がおこったためと考えられる。このことを明らかにするために、第 5 章で砂糖、ブドウ糖、酢酸アンモンにつき λ を求めて研究した。

5. 再曝気装置による汚水中汚染物の酸化に関する実験

河川に排出された有機汚染物は微生物の作用により酸化分解され、流下と共に減少して行く。この生物化学的酸化は Streeter, Phelps によれば、 $\frac{dc}{dt} = -\lambda c \dots\dots (6)$ なる単分子反応で示され、工学的な意味においては良くその過程を表わすものとされている。しかしながら第 4 章の実験の結果では、 c と t の関係が上記の一次式では現わされずに、BOD と同様な time-lag を持つようであり、またこれは汚染有機物を BOD として解釈したる以上、その酸化過程を単分子反応の合成された多分子反応と考えれば、理論的にもうなずけることである。汚染物酸化分解の速度は有機物分子結合の強度のほか汚染物を受容する河水中の細菌、プランクトン等微生物数の多少、平衡状態、種類等にも支配され、汚染有機物を食餌とする微生物の増殖率が低い場合には汚染物の減少にはいわゆる lag が生じるものと予想される。それ以後の酸化分解が単分子反応で進行するにしても、我国におけるような短小河川を対象とする場合には最初の lag の大小が大きな意味を持つこととなる。

こうした観点から汚染物として数種の有機物基質を用い、河水中におけるこれらの生物化学的酸化分解に関する実験を行なった。

河水中の脱酸素反応と再曝気反応を相似させるため、O' Conner, Dobbins¹²⁾ 試作、南部博士改良による図-9 に示すような再曝気装置を用いた。本

装置は試料を入れる貯留槽2基，同槽内の試料を上下動によって攪拌する格子群，変速装置，動力源より構成され，またサーモスタットにより試料を一定温度に保持し得るようになっている。

基質としては単糖類としてぶどう糖($C_6H_{12}O_6$) 多糖類として蔗糖($C_{12}H_{22}O_{11}$)，含アンモニア有機物として酢酸アンモン(NH_4CH_3COO)を採用した。

本装置に京都疏水55ℓを入れ，1槽には基質のみを，他槽には同一基質とそれに馴致せしめた汚泥少量を入れ，以後の減少をBOD₅を指標として測定した。この場合貯留槽の攪拌回数は40回/分，格子1ストローク長は15cm，水温は平均25℃に保持した。同温度下で本装置の再曝気状態は京都疏水のそれとほぼ同じである。

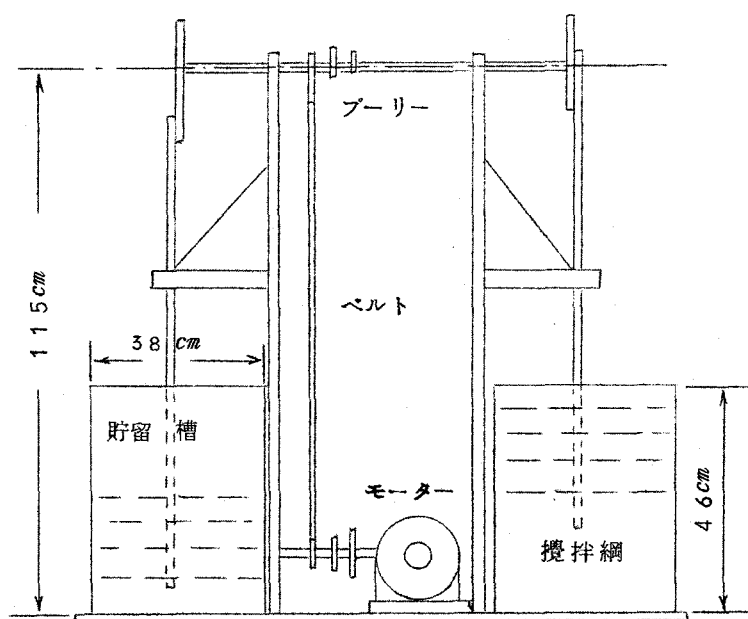


図-9 酸素平衡実験装置

(実験結果)

河水として用いた京都硫水のバックグラウンド BOD_5 は約1 ppm, であり特異な汚染は受けていない。試料基質投入後溶存酸素の測定を行なったが, 有意の変動は認められなかった。

1) ぶどう糖 ぶどう糖の初期濃度は約42 ppmとしたが, 初期 BOD_5 はぶどう糖のみの槽で26.0 ppm, 馴致汚泥加槽では30.5 ppmであった。したがって, ぶどう糖は約62% (重量) が BOD_5 として測定されている。これは理論酸素要求量の約58%に当る。ぶどう糖の BOD_5 減少の状態を初期 BOD_5 で正規化し, 図-10に示す。減少過程は2段階に別かれているようであり, 2~3日にわたる初期の一次反応段階では速度恒数 k は0.09 1/d, また馴致汚泥添加の影響は見られない。以後の段階では減少速度が大きく, ぶどう糖のみの場合および汚泥を添加した場合の速度恒数はそれぞれ0.11 1/d, 0.19 1/d と推定される。減少の後期で後者の減少速度が大となる原因は明らかでない。

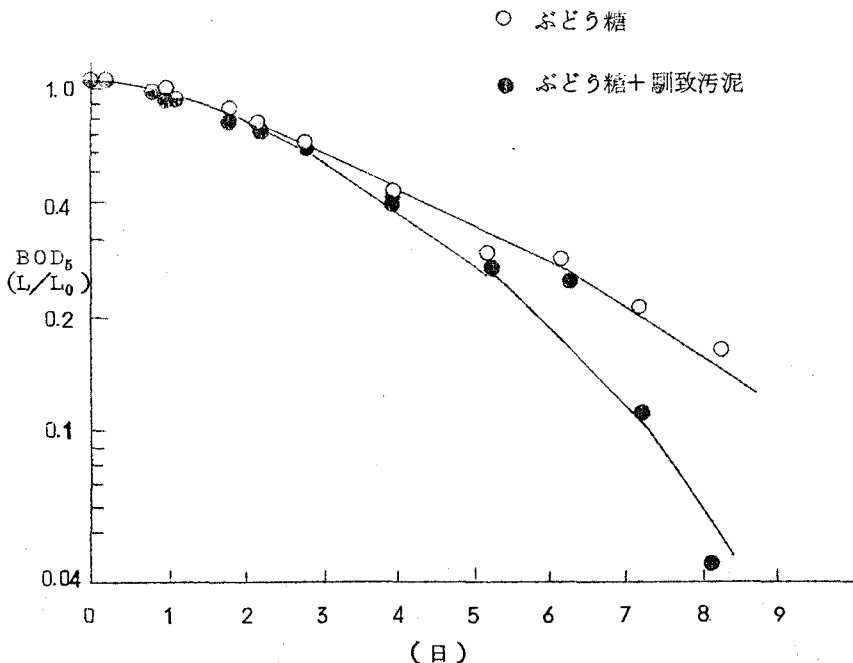


図-10 河水中におけるぶどう糖 BOD_5 の減少

ii) 蔗糖 初期濃度は約 16 ppm としたが、初期 BOD_5 は蔗糖のみの場合 9.8 ppm、馴致汚泥を添加した場合 12.2 ppm であった。したがって、蔗糖は重量%にして約 61% が BOD_5 として測定される。これは理論酸素要求量の約 55% に当たる。 BOD_5 の減少を図-11 に示すが、馴致汚泥添加の場合に比べ、蔗糖のみの場合は約 2 日の lag が生ずるようである。以後の期間における速度恒数は、いずれの場合も同様に、 $0.07 \sim 0.08 \text{ 1/d}$ の値を示している。

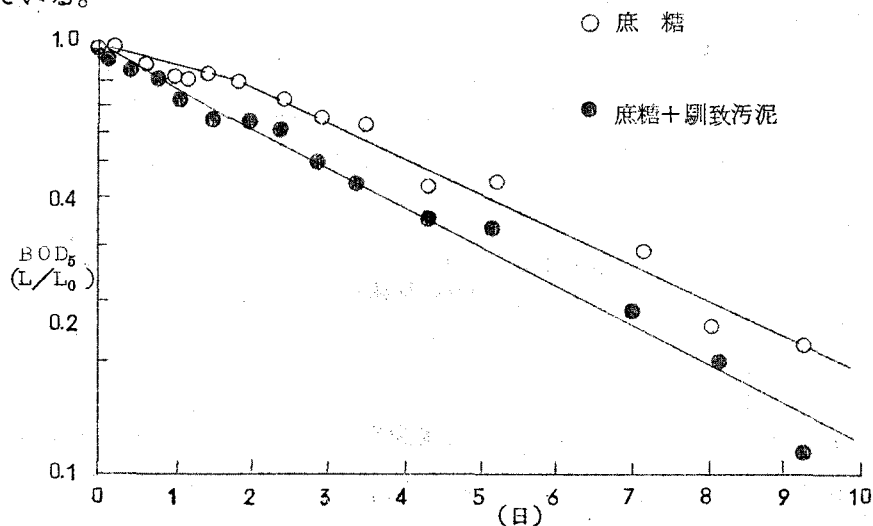


図-11 河水中における蔗糖 BOD_5 の減少

iii) 酢酸アンモン 初期濃度は 49 ppm、初期 BOD_5 は A 槽で 28.7 ppm、B 槽で 29.6 ppm であり、したがって、重量%にして約 58%、硝化過程を除いた理論酸素要求量の約 71% が BOD_5 として測定されている。 BOD_5 の減少を図-12 に示す。ほぼ一次反応の減少を示しているとみられるが、初期 2 日間の減少速度は、以後に比べ幾分緩い。また、馴致汚泥添加による大きな影響はみられない。減少後期の速度恒数は酢酸アンモンのみの場合、馴致汚泥添加の場合共に 0.10 1/d である。

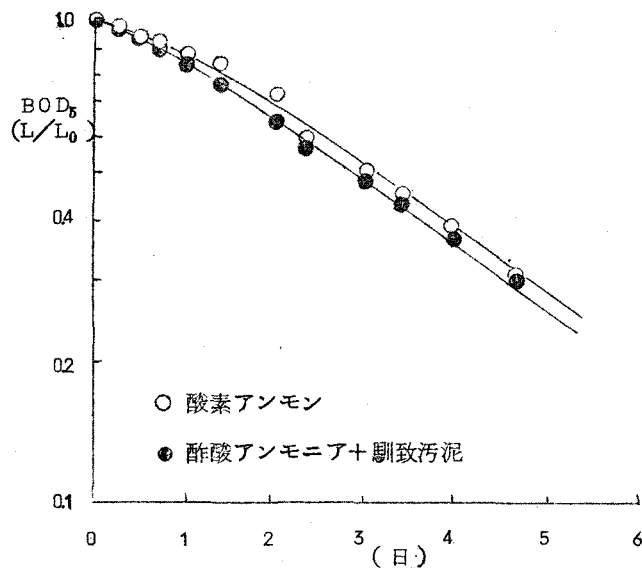


図-12 河水中における酢酸アンモニア
BOD₅の減少

以上，3種の基質の生物化学的酸化減少をみると，巨視的には一次反応の減少を認めることもできるが，微視的には，比較的速度恒数の小さい初期と幾分大きい後期の減少期に分かれるようである。また，蔗糖については，減少開始のおくれがみられるようであるが，これらの点についてはなおまだ実験的検証が必要であると思われる。

グルコース，酢酸アンモンは蔗糖に比べ幾分分解され易く，速度恒数は減少後期で前2者の場合 $0.10 \sim 0.15 \text{ 1/d}$ ，後者の場合 $0.07 \sim 0.08 \text{ 1/d}$ の値となっている。

6. 結 語

有機汚濁物質の河川中における濃度変化は Streeter-Phelps によって (1)式のように与えられている。これは，拡散係数を一定と考えて平滑な水路を汚染物が流下するときにかぎり解くことができるが，この解は実験用水路，

用水路等の単一横断面をもつ簡単な河川については良く適用できることが第3章、第4章の実験によって明らかにされた。しかし、実際の河川は、底面粗度や屈曲のために平滑な水路と考えることができず、さらに支川、派川などがある場合には解の適用が困難となる。そこで著者は、複雑な河川の拡散混合の状態をtracerを用いて実測し、その結果から河川の自浄作用を解析する方法を提案し、その実用性を京都疏水を用いた実験により明らかにしようとした。しかし、京都疏水でもなお流下時間が短く、実験期間中に有意の汚染物質酸化がみられなかった。さらにこの実験により汚染物の酸化は(16)式のように、時間的な一次式では示されず、BODの時間曲線に見られるごとく最初はtime-lagの現象を示すことを知った。そこで、Dobbins-南部の再曝気装置により、この点を砂糖、ブドウ糖、酢酸アンモンにつき調べたところ、やはり最初の1日は汚染物質の河川中での酸化がほとんどおこらないか、またおこっても、2日以後に比べてわずかであることを知った。

なお、第2章の理論は、本学数理解析研究所荒木不二洋助教授に討議いただき、数々の教示にあずかった。また第3章で水路を使用するに当たり、本学土木工学教室岩佐教授、今本講師に、第4章で京都疏水を使用するには京都市水道局上水課今川真吾課長にお世話になった。以上の諸氏に謝意を表したい。また本研究の一部は文部省特定研究「水質汚濁の軽減化および防止化工法」の研究費によることを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) O' Conner, D.J. and Dobbins, W.E. "The Mechanics of Reaeration in Natural Streams", Proc. A.S.C.E. **82** SA6.119
(1956)
- 2) Iwai, S and Nambu, S, "Evaluation of Self-Purification of Short Streams", Tech. Report, Engr. Research Inst. Kyoto Univ., No. 87 (1961)
- 3) 岩井, 合田, 植松, 南部「放射性廃水を河海へ放流した場合の拡散希釈について」第1回原子力シンポジウム, 574頁(1958)
- 4) 南部特一「流入汚水の希釈特性に関する実験的研究」土木学会論文集, 第69号, (1960)
- 5) 南部特一, 「放流汚水の拡散希釈に関する基礎的研究」土木学会論文集 第59号, (1958)
- 6) 井上頼輝, 「トレーサーによる河川汚濁の解析法について—第一報」第1回下水道研究発表会講演概要集, 27頁(1964)
- 7) 井上頼輝, 「トレーサーによる河川汚濁の解析法について—第二報」第2回上水道研究発表会講演概要集, 16頁(1965)