

# 多摩川支川の水質と下水路の 浄化作用に関する研究

1986年

浦野 紘平

横浜国立大学工学部助教授

# 目 次

1. 諸 言 .....	1
2. 従来の研究と本研究の目的 .....	2
2-1 従来の研究 .....	2
2-1-1 自浄作用の考え方 .....	2
2-1-2 排水路での自浄作用の評価 .....	3
2-1-3 河川での自浄作用の評価 .....	3
2-1-4 河川の水質予測方法 .....	5
2-2 本研究の目的と考え方 .....	10
3. 調査対象排水路及び河川 .....	11
3-1 調査地点 .....	11
3-2 特 性 .....	12
3-2-1 自然地理特性 .....	12
3-2-2 人文特性 .....	12
3-3 汚濁発生量 .....	12
4. 流量及び水質の測定方法 .....	15
4-1 流量の測定方法 .....	15
4-1-1 排水路 .....	15
4-1-2 河 川 .....	15
4-2 採水方法 .....	15
4-3 水質の測定方法 .....	16
4-3-1 DO(溶存酸素濃度)及び導電率 .....	16
4-3-2 BOD(生物化学的酸素消費量) .....	16
4-3-3 TOC(全有機炭素量) .....	17
5. 排水路の調査結果 .....	17
5-1 流 量 .....	17
5-2 水 質 .....	20
5-3 汚濁流出量と汚濁流出率 .....	21
6. 河川の調査結果 .....	23
6-1 流 量 .....	23
6-2 水 質 .....	23

6-3	汚濁流達量と汚濁流達率	24
7.	中小河川の水質予測方法	28
7-1	排水路の浄化能力の解析	28
7-1-1	シミュレーション方法	28
7-1-2	シミュレーションによる汚濁流出率の計算	28
7-2	河川の浄化能力の解析	30
7-2-1	シミュレーション方法	30
7-2-2	平瀬川の現状水質	32
7-2-3	平瀬川の将来水質予測	32
8.	結 言	34
9.	文 献	36
	付 録	38

## 摘 要

近年の著しく汚濁された都市型中小河川の浄化対策を効果的に行うためには、従来より一層確かな河川の水質予測方法を確立することが必要である。そこで本研究では、排水路の自浄作用を考慮した河川の水質予測方法の検討を行った。

まず、典型的な都市型中小河川である平瀬川周辺10か所の排水路について水量及び水質を調査し、河川への汚濁物質の流出量を計算して集水域での汚濁物質の発生量との比から汚濁流出率を求め、排水路の自浄作用を解析した。すなわち、排水路の集水域全体を一つの均一な生物反応槽と考え、この反応槽に多数の排水が等しく流入し、反応槽内で汚濁物質が浄化されて河川に流入するとして汚濁流出率を算出した。その結果、排水路における浄化係数 $kX$ は集水域面積から求められることが明らかとなり、これと河川への流出水量とから汚濁流出率が計算できることがわかった。従って、この汚濁流出率と汚濁発生量とから排水路から河川への汚濁物質の流出量を定めることができた。

河川については、河川を短距離区分に分割し、各区分はそれぞれ定常状態であるような連続多段の完全混合型生物反応槽であると考え、上記の方法で排水路から各区分へ流入する水量と汚濁物質量を求め、平瀬川の現状水質をシミュレーションし、実測値と比較した。実測値と計算線とを比較したところ、汚濁の著しい都市型中小河川についての自浄係数 $kS$ は $0.10$  ( $m/h$ )程度とすれば両者が良く一致すると考えられた。

従って、このように排水路の自浄作用を推算し、これを考慮して河川水質の予測を行えば、河川の流域人口や排水の処理方法が変化した場合などの水質を、従来の方法より一層正確に予測できると考えられた。

## 1 諸 言

“水”というものは我々の身近のあらゆる所に存在し、日常生活とも深いかかわり合いをもっている。特に、河川・湖沼・海洋といった水圏は、古くから飲料水や農業用水、工業用水、重量物の運搬、廃棄物の処理、あるいは住民の憩いの場として利用されてきた。このうち河川は、人間にとって最も利用しやすく、その利用範囲は飲料水、農業用水、工業用水、発電用水をはじめ多岐にわたっている。また、小川のせせらぎのように流れる川は、人々の心を和ませ、子供たちにとっては格好の遊び場となる。

しかし、現在の日本の河川の多くは、程度の差こそあれ何らかの汚濁を受けている。特に、近年の都市への人口集中により、市街地近郊を流れる河川は大量の生活排水や産業排水の流入を受け、汚濁が急激に進んでいる。このような現状において、国や各地方公共団体では様々な対策を講じている。その1つとして下水道整備があげられるが、下水道普及率は昭和59年度末で34%と依然低い状況にあり、全体の6割以上の地域が未整備のままである。そのため、下水道整備と平行して、小規模な生活排水処理施設への助成や試験プラントでの実験などが行われている。

こういった対策を効率良く進めるためには、確かな河川の水質予測方法が必要である。しかし、従来の河川の水質予測方法では、発生した汚濁物質が全く浄化を受けずに河川に流入し、河川の水中でのみ微生物分解されるとされてきた。しかし実際には、排水路の自浄作用により汚濁物質は河川に至るまでにある程度浄化される。また、日本の河川のように流量が少なく、しかも流れの速い河川では、河川水での微生物分解よりも底質中での微生物分解の寄与が大きいと考えられる。

そこで本研究では、河川の自浄作用を解析する上で排水路の自浄作用を考慮し、排水路や河川の底質中微生物による自浄作用を解析し、河川の水質予測方法を確立することを試みた。

## 2 従来の研究と本研究の目的

### 2-1 従来の研究

#### 2-1-1 自浄作用の考え方

河川に汚濁物質が投入されると、汚濁物質は河川水によって拡散・希釈されて、その濃度は低くなる。さらに、汚濁物質は河川を流下する間に底質へ沈澱・吸着し、水中または底質中に生息する微生物の代謝作用によって分解する。溝呂木<sup>1)</sup>は、自浄作用とはこのように汚濁物質が河川などの水系中で希釈、沈澱、吸着、分解などの物理的、化学的及び生物化学的作用によって減少する現象である、と定義している。

排水路や河川での自浄能力を評価するということは、ある地点での汚濁物質の量を発生源からの汚濁物質の排出量と比較すること、及び流下に伴って汚濁物質がどのように減少していくかを定量的に評価することである。

しかし、汚濁物質は数多くの発生源から排出され、様々な流下経路をたどって排水路や河川中を流下

していくために、そのプロセスを厳密に定量することは困難である。そこで村上<sup>2)</sup>は、汚濁物質が流下していくプロセスを図1のように表した。この際、汚濁物質が排出され、様々な流下経路をたどって河川に流入するまでの割合を「汚濁流出率」と呼び、さらに河川に流入してから沈殿、吸着、生分解などによって汚濁物質が減少する割合を「減衰率」と定義している。また、この汚濁流出率と(1-減衰率)の積を「汚濁流達率」と定義している。本研究でも、基本的にこれらの定義を用いることにした。

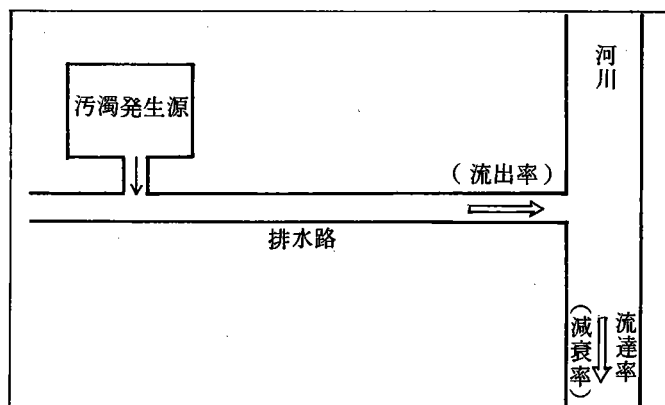


図1 汚濁物質の流達プロセス

汚濁物質の発存量、汚濁流出率、及び汚濁流達率から、ある地点における汚濁物質の総量を求めることができる。さらに水量を加えれば、その地点における水質も求められる。つまり、汚濁流出率と汚濁流達率の算出方法が確立されれば、人口や排水の処理形態などの情報、及び実測水量から河川水質を予測することができ、水質管理をする上で大いに役立つと考えられる。

### 2-1-2 排水路での自浄作用の評価

河川の自浄作用を評価する場合、河川に流入する排水路の自浄作用も考慮する必要がある。しかし、自浄作用に関する研究の多くは大河川及び中小河川に関するものであり、排水路の自浄作用に関する研究は極めて少ない。

稲場ら<sup>3)</sup>は、汚濁流出率の地域特性を検討するために、人口密度、排水路の整備状況などが類似している5つの市街地について調査を行い、表1に示したような結果を得ている。溝呂木<sup>1)</sup>は、通常BOD流出率は17.1~63.0%の範囲にあるが、稲場らが対象としたようなコンクリート張りの排水路が整備されている地域における汚濁流出率は、BOD、SSともに50~70%程度と高くなり、住宅地域の雨水流出率に近い値になる、としている。

しかし、これらの結果はバラつきが大きく、排水路の長さや幅、水量などの影響を考えていないので、これらの報告によって排水路の自浄作用を評価することは難しいと考えられる。

### 2-1-3 河川での自浄作用の評価

河川の自浄作用に関する研究は、これまでに数多く行われている。

市川<sup>4)</sup>は、人口密度と汚濁流出率との関係を表2のように表している。市川は、この数値が適用できるのは、流域内がほぼ均一な状態であり、かつ流域面積が小さい場合である、としている。

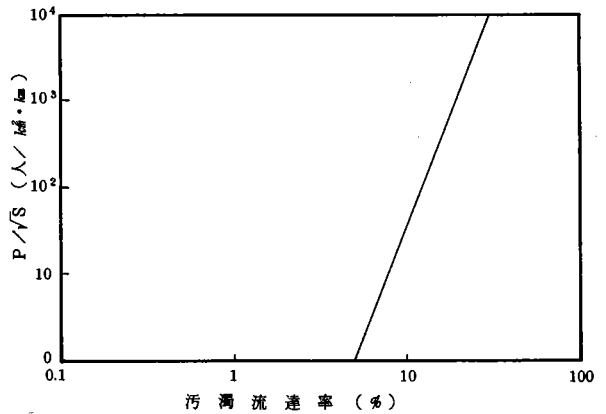
村上らは、流域面積と人口の関係から、多摩川に流入する5支川について調査を行い、図2のような

表1 住宅市街地における汚濁流出率

	水質項目	BOD (%)	COD (%)	SS (%)	T-N (%)	T-P (%)
東京	平均値	17.1	32.3	15.3	52.3	55.9
	範囲	12.4~21.7	28.8~35.5	14.8~15.8	51.4~53.2	54.8~57.3
横浜	平均値	49.4	108.8	92.6	145.7	434.2
	範囲	40.8~62.6	74.3~128.0	69.2~116.5	127.8~179.5	382.9~534.2
名古屋	平均値	63.0	84.6	68.7	77.0	46.6
	範囲	59.3~64.9	67.1~99.4	52.4~76.9	58.1~91.2	35.6~53.4
大阪	平均値	36.0	37.1	31.3	33.1	25.4
	範囲	24.1~51.0	21.2~46.1	15.8~51.3	26.1~46.7	8.5~37.3
神戸	平均値	49.9	45.2	44.0	77.6	77.6
	範囲	42.4~60.9	31.0~59.5	29.3~57.1	66.2~89.9	62.2~88.8

表2 汚濁流達率の推定法の例

人口密度(人/km <sup>2</sup> )	汚濁流達率(-)
~1000	0.1
1000~3000	0.2
3000~5000	0.3
5000~8000	0.5
8000~10000	0.7
10000~	0.9



結果を得て、汚濁流出率は(1)式で近似できるとした。

図2 汚濁流達率の推定法の例

$$\log X' = 2.0 - 0.6896 \times 0.7688 \log P / \sqrt{S} \dots\dots\dots(1)$$

X : 汚濁流達率 (%) (X' = X / 100)

P : 人口密度 (人/km<sup>2</sup>)

S : 流域面積 (km<sup>2</sup>)

また、東京湾環境安全調査報告書<sup>5)</sup>では、中川・江戸川・多摩川・荒川など東京湾に流入する代表的な19河川のBOD流達率について調査し、次の関係式を得ている。

$$X = 1.58 (P / \sqrt{S})^{0.47} \dots\dots\dots(2)$$

これらの式から、人口密度が大きいほど、また流域面積が小さいほど、汚濁流達率が大きくなること  
 がわかる。しかし、 $P/\sqrt{S}$ の物理的意味を理解することは難しく、また、人口密度と流域面積のみから  
 汚濁流達率を求めることには少し無理があり、排水の処理形態が変化した場合の流達率を予測するこ  
 もできない。

さらに、和田<sup>6), 7)</sup>は、汚濁流達率と河川流量、河床勾配などとの関係を検討して、図3、4のような  
 結果を得、次のことを結論づけている。

- (1) BOD, SSの流達率は流量の関数となる。
- (2) 中小河川での流達率は流量のべき数に比例する。
- (3) 流達率は、人口密度が大きいほど、また流域面積が小さいほど大きくなる。
- (4) 河床勾配の小さな河川では、河床勾配と流達率は一次の関係にある。
- (5) 排水量、及び汚濁物質の発生密度が大きくなるほど流達率は大きくなる。

これらの結論は、中小河川の流達率についての考え方としては、比較的わかりやすいが必ずしも定量  
 的な裏付けがなされているとはいえない。

#### 2-1-4 河川の水質予測方法

潮の干満の影響を受けない河  
 川順流部の代表的なモデルとし  
 て、Streeter-Phelpsのモデル<sup>8)</sup>  
 がある。このモデルは、欧  
 米をはじめ我国でも最も多く用  
 いられているモデルで、次のよ  
 うな考えによっている。

- (1) 水深方向と横方向への拡散  
 を無視し、河川水の流下方向  
 だけへの拡散を考える。
- (2) 河川水の規則的な流れによ  
 って汚濁物質が移動する。
- (3) 流下する間に、水中の微生物  
 による酸化分解、及び沈殿  
 ・吸着作用によって汚濁物質が減少する。
- (4) 底質の巻上げ、溶出などによ  
 って汚濁物質が付加される。

これらの仮定をもとに、(3)式を提案した。

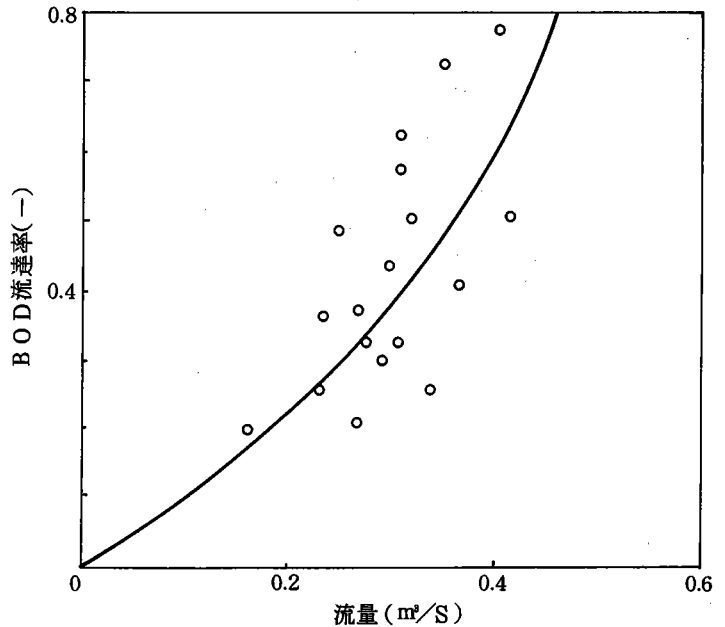


図3 流量とBOD流達率の関係の調査例



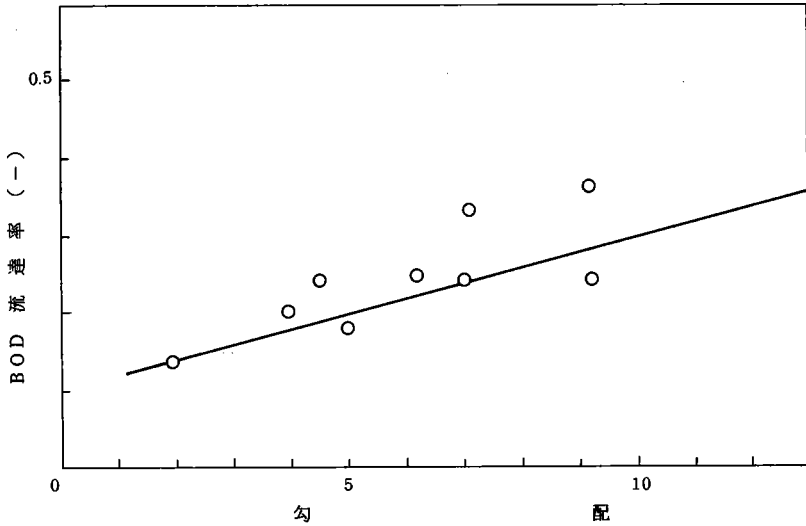


図4 勾配とBOD流達率の関係の調査例

$$L_L = \left( L_u - \frac{La}{K} \right) e^{-Kt} + \frac{La}{K} \dots\dots\dots(3)$$

L : 汚濁物質質量 (kg)

添字 u : 上流地点でのLの値

添字 L : 下流地点でのLの値

K : 河川水中での汚濁物質の減少係数 (1/d)

La : 河床から付加される汚濁物質質量 (kg/d)

t : 流下時間 (d)

しかし、通常は河床から付加される汚濁物質質量を無視した次式を用いることが多い。

$$L_L = L_u \cdot e^{-Kt} \dots\dots\dots(4)$$

これらの式は、河川の流れを等速定流とした場合の拡散方程式の解析解で、横断方向の水質は一樣であると仮定している。

また、市川は、河川を一次元の場と考え、輸送、拡散、合成、分解によって水質が変化するものとして、図5のような考え方を提案した。これは、dzの距離を速度vで移動する時の物質移動の模式図であって、物質収支は(5)式のように表すことができる。

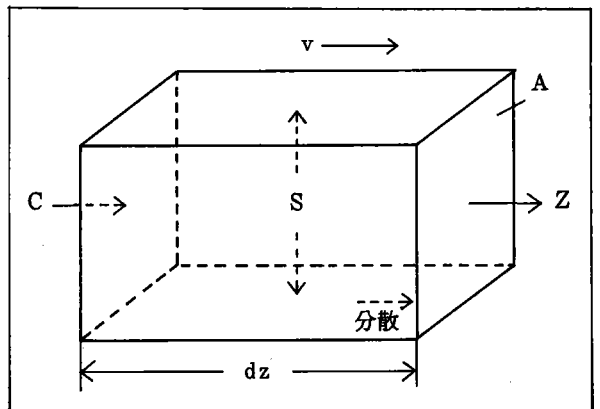


図5 水質予測のための河川モデル化の例

$$A dz \frac{dC}{dt} = \frac{\partial \{ ADL (\frac{\partial C}{\partial z}) \}}{\partial z} dz - \frac{\partial (AVC)}{\partial z} dz + (Adz) \frac{dC}{dt} + S \dots\dots\dots(5)$$

- C : 汚濁物質濃度 ( kg / m<sup>3</sup> )
- z : 距離 ( m )
- t : 時間 ( h )
- A : モデル化した河川の断面積 ( m<sup>2</sup> )
- DL : 拡散係数 ( m<sup>2</sup> / h )
- v : 流速 ( m / h )
- S : 汚濁物質の発生量あるいは沈下量 ( kg / h )

この方程式の解法としては、有限要素法や差分方程式として数値解を求める方法などが考えられるが、水質を決定する因子が多く、さらに境界条件の設定が困難なので、これを実河川に適用するのは難しい。そこで、水質の予測を行う際には、河川のモデル化を進めている。

(5)式で、

$$A dz C = L$$

$$(Adz) dC/dt = -(K_1 + K_3) L$$

とし、Streeter - Phelps のモデルにおける仮定を用いると、汚濁物質濃度の時間変化に対する基本式は次式のようになる。

$$\frac{\partial L}{\partial t} = Dz \frac{\partial^2 L}{\partial z^2} - v \frac{\partial L}{\partial z} - (K_1 + K_3) L + P \dots\dots\dots(6)$$

- L : 区間 dz における汚濁物質質量 ( kg )
- Dz : 流下方向 z に対する拡散係数 ( m<sup>2</sup> / h )
- K<sub>1</sub> : 生分解による汚濁物質の減少係数 ( 1 / h )
- K<sub>3</sub> : 沈殿・吸着などによる汚濁物質の減少係数 ( 1 / h )
- P : 底質の巻上げ・溶出などによる汚濁物質の増加係数 ( 1 / h )

いま、定常状態 ( ∂L / ∂t = 0 ) であると仮定し、かつ流下方向に対する拡散を無視した場合、(6)式は次式のようになる。

$$v \frac{\partial L}{\partial z} = -(K_1 + K_3) L + P \dots\dots\dots(7)$$

(7)式を積分して整理すると、(8)式が得られる。

$$L = (L_0 - \frac{P}{K_1 + K_3}) \exp \{ -(K_1 + K_3) \frac{z}{v} \} + \frac{P}{K_1 + K_3} \dots\dots\dots(8)$$

$L_0$ :  $z = 0$  における汚濁物質質量 (kg)

$z/v$ : 流下時間  $t$  (h)

また、底質の影響が無視できる場合 ( $P = 0$ ) , (8)式は次式のようになる。

$$L = L_0 \cdot e^{-(K_1 + K_3)t} \dots\dots\dots(9)$$

この場合、 $K_1 + K_3 = K$  とすれば、(4)式すなわち Streeter-Phelps 式と全く同じになる。

日本においても、Streeter-Phelps 式を用いて水質予測を行った例がいくつか報告されている。一例を示すと、合葉ら<sup>9), 10)</sup>は、多摩川中流域約 2.65 km において、水質予測のシミュレーションを行っている。この方法の特徴は、付着藻類による光合成速度、及び BOD の 2 次負荷を考慮していることであり、次式のように表している。

$$\frac{\partial(AL)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( ADz \frac{\partial L}{\partial z} \right) - \frac{\partial(AvL)}{\partial z} - (K_1 + K_3)AL + K + MS + L_T \dots\dots\dots(10)$$

S: 潤辺長 (m)

$K_4$ : BOD の 2 次負荷速度係数 ( $\mathcal{G}$ -BOD/ $\mathcal{G}$ -Chlorophyll $\cdot$ h)

M: 付着藻類の現存量 ( $\mathcal{G}$ -Chlorophyll/ $\text{m}^2$ )

$L_T$ : 支流から流入する BOD 負荷 ( $\mathcal{G}$ -BOD/ $\text{m}\cdot$ h)

この (10)式を用いて水質予測を行っている。

しかし、本来 Streeter-Phelps 式は、欧米によく見られるような水深が大きく、流量が大きく、流下距離も長い河川で、1つの汚染流入点の影響を予測するために考案されたものであり、河川中の汚濁物質は、流下に伴って主に水中の微生物により分解されて減少すると考えられている。これに対して、日本の河川、特に都市型中小河川と呼ばれている河川は、水深が小さく、流量が小さく、流下距離も短いだけでなく、多数の汚濁流入点がある。このため、汚濁物質が減少する過程も、欧米の河川とは異なると考えなければならない。

合葉らが行った水質予測は、付着藻類による光合成、呼吸、及び BOD の 2 次負荷などを考慮して、より日本の河川の実情に即した面もあるが、あくまでも Streeter-Phelps 式を基礎としており、また都市を流れる中小河川では、付着藻類の影響が無視できるほど汚濁されている場合が多い。

また、Streeter-Phelps のモデル以外にも河川の水質予測モデルがいくつか報告されている。そのうちのいくつかを表 3 に示したが、いずれもかなり複雑であるにもかかわらず、排水路での自浄作用を全く考慮していない。

従って、このような方法では、人口や排水の処理形態が変化した場合の都市型中小河川の水質を正しく予測することはできない。

表3 既往の河川水質モデルとその特徴(1)

研究者	年代	対象河川	特徴	酸素消費量	再曝気係数	光合成項
W.E.Dobbins	1964		途中流入項, 沈殿項などを導入し, モデルを拡張	$-K_1 \cdot L - DB$ DB: 底質などでの酸素消費 [ $g/m^2 \cdot s$ ]	Dobbins 式などの比較検討を行う	底質での酸素消費項DBの一部として考慮
J.C.Rutherford	1977	New Zealand Waikato	植物を付着性藻類, 大型着性植物, プラントンに分けて考察	$-K_1 \cdot L - R$ R: 植物の呼吸 [ $g/m^2 \cdot s$ ]	$3.739 \cdot U \cdot d^{3/2}$ { U: 流速[ft/s] d: 水深[ft]}	流域の植物存在量を細かく実測し, これと光合成速度より推定
G.Knowles & A.C.Wakeford	1978	England Thames Catchment	硝酸化, 光合成, 沈殿など既往研究の結果を用いた総合モデル	$-K_1 L - K_N \cdot N - DB$	$(U + 0.3406)^{0.67}$ $d^{-0.85/60}$ { U: 流速[cm/s] d: 水深[cm]}	$P = 0.00103 \cdot I^{0.79}/d$ I: 光の強さ [ $cal/cm^2 \cdot h$ ] P: [ $g/m^2 \cdot min$ ]
C.J.Bathala et al	1979	America Coleman Creek	小河川の自浄能力の推定	$-K_1 \cdot BOD - K_N \cdot N$	$9504 \cdot S \cdot U$ { S: 河床勾配[-] U: 流速[ft/s]}	
J.B.Erbmann	1979	England Chales	DOの日周変動より, 光合成量と呼吸量を測定	-r: 総括呼吸量 [ $g/m^2 \cdot s$ ] (日周変動より求める)	Dobbins 式	+P: 総括光合成量 [ $g/m^2 \cdot s$ ] (日周変動より求める)
S.Rinaldi et al	1979	Italy Bormida	DOの日周変動より, 光合成量と呼吸量を測定	$-K_1 \cdot L - Pr$ Pr: 植物の呼吸 [ $g/m^2 \cdot s$ ]	$K_2/K_1$ の比を実測値より求め $K_2$ を推定	パラメータの一部として扱われているが, 重視されている。

## 2-2 本研究の考え方

以上述べたように、河川の水質予測の研究は、これまで欧米を中心に行われ、いくつかの報告がなされている。しかし、水深が大きく、流量が大きく、流速が小さく、かつ汚濁物質の流入点が少ない欧米の大河川を対象にして得られた結果は、水深が小さく、流量が小さく、流速が大きく、かつ面的に多数の汚濁物質の流入点がある日本の都市型中小河川には、必ずしも適用できない。また、今日まで行われてきた自浄作用に関する研究の多くは河川についてであり、そこに流入する排水路についての研究はほとんど行われてこなかった。しかし、排水が排水路を通して河川に流入する場合、排水路の自浄作用は決して無視できないものである。そこで本研究では、「汚濁流出率」という概念を用いて排水路での汚濁物質の挙動を明らかにし、この排水路の汚濁流出率を用いて、人口や排水の処理形態が変化した場合の都市型中小河川の水質を予測する方法を検討した。すなわち本研究は、排水路と河川の自浄作用を総合的に捉え、現状の河川水質を解析し、それをもとに河川の将来水質を予測する方法を確立することを目的とした。

なお、汚濁流出率は次のように表される。

$$\text{汚濁流出率} = \frac{\text{排水路から河川への汚濁流出量}}{\text{排水路の集水域における汚濁発生量}}$$

また本研究では、河川の汚濁物質の減少に関して次のような仮定をもとに、溶存酸素が十分にある場合と不十分な場合について、それぞれ汚濁物質減少速度式を考えた。

- 1) 水中の汚濁物質の減少は、定常状態ではそのほとんどが微生物による生分解に起因する。
  - 2) 微生物による生分解速度は、微生物濃度及び汚濁物質濃度に比例し、溶存酸素が十分にある時は生分解反応速度が律速になり、不十分な時は酸素溶解速度が律速になる。
  - 3) 酸素の溶解速度は、水面の面積及び飽和酸素濃度と実際の酸素濃度の差に比例する。
  - 4) 汚濁の著しい排水路または中小河川では、藻類の増殖による汚濁負荷は無視できる。
- (a) 溶存酸素が十分にある場合

溶存酸素が十分にあり、かつ汚濁物質質量に対して底質微生物量が多いと考えられる時は、底質微生物はほぼ減衰増殖相にあると考えられる。従って、減衰増殖時の生分解速度式から、汚濁物質の減少速度は(1)式で表されると考えられる。

$$-\frac{dC}{dt} = kC \frac{SA}{V} = kC \frac{S}{D} \dots\dots\dots(1)$$

- C : 汚濁物質濃度 (g/m<sup>3</sup>)
- K : 生分解速度定数 (m<sup>3</sup>/g・h)
- S : 底質単位面積当りの有効微生物量 (g/m<sup>2</sup>)
- A : 河川の底面積 (m<sup>2</sup>)
- V : 河川の流水体積 (m<sup>3</sup>)
- D : 水深 (m)

(b) 溶存酸素が不十分な場合

汚濁物質量が比較的多く、生分解に必要な酸素量が空気中から供給される酸素量より多くなると、汚濁物質の分解速度は空気中から水中への酸素溶解速度に支配され、(12)式のように表されると考えられる。

$$-\frac{dC}{dt} = K_L \frac{A}{V} (C_{os} - C_o) \dots\dots\dots(12)$$

$K_L$ : 酸素の物質移動係数 (m/h)

$C_{os}, C_o$ : 飽和溶存酸素濃度及び実際の溶存酸素濃度 (mg/L)

### 3 調査対象排水路及び河川

#### 3-1 調査地点

調査対象のモデル河川として、多摩川に流入する支川の1つである平瀬川を選定した。この平瀬川は川崎市西部に位置し、高津区・宮前区・多摩区・麻生区を流れており、一級河川に指定されている。平瀬川の源泉は川崎市宮前区菅生にあり、総長11.5km(うち本川は7.6km)、流域面積約1,310ha、流域人口約9万人で、下水道は全く普及していない。また、流域の土地利用状況は、上流から中流にかけては田畑・山林・住宅地が混在しており、中流から下流にかけては主に住宅地が広がっている。以上のようなことから、本河川は典型的な都市型中小河川とみなすことができる。そこで本研究では、平瀬川とそこに流入する10の排水路について調査を行った。平瀬川においては本川の4地点を、排水路においては平瀬川への流入地点と途中1~2地点を調査地点として選定した。図6に平瀬川の地理的位置を、図7に平瀬

川及び各排水路における調査地点を示した。なお、河川での調査地点は、近くに大きな排水路の流入がないこと、測定・採水が困難でなく安全に調査ができること、などを基準に決定した。また、排水路の選定に際しては、

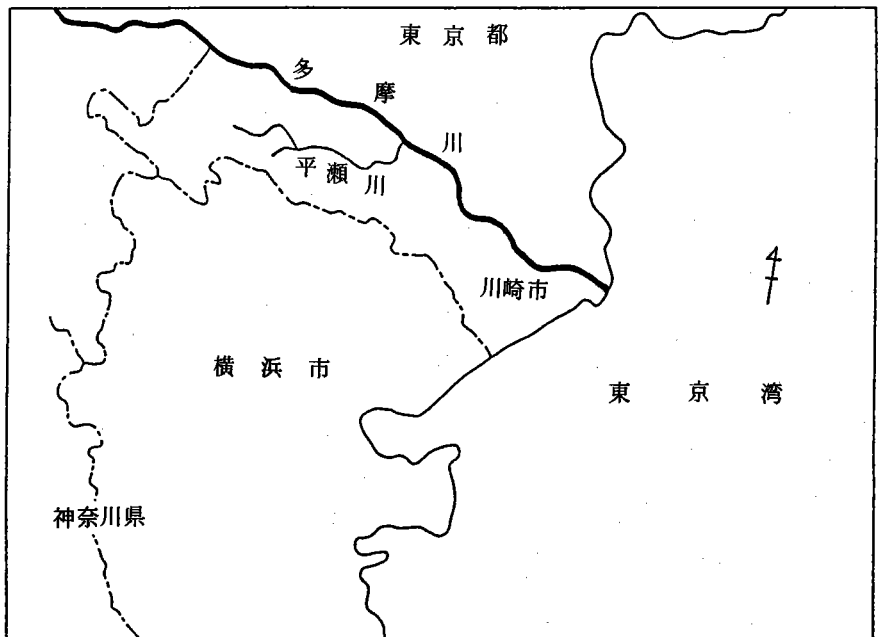


図6 平瀬川の地理的位置

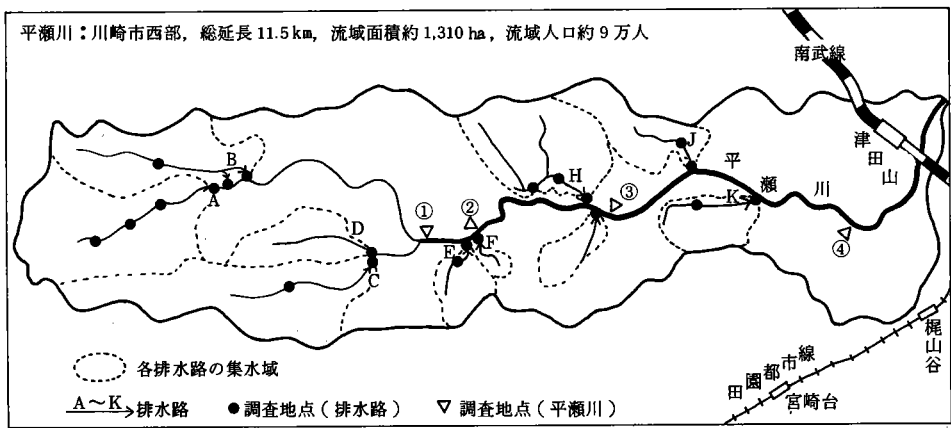


図7 平瀬川及び各排水路における調査地点

河川への流入量がある程度多く河川への影響が大きいこと，ある程度の長さがあり上流から下流に至るまでかなりの浄化が期待できること，及び大きさ・形状などが違う排水路を捉えられること，などを考慮した。

### 3-2 特性

#### 3-2-1 自然地理特性

本研究において用いた自然地理特性は，河川については，「流域面積」，「全長」，排水路については，「集水域面積」，「流下距離」などである。「流域面積」及び「集水域面積」とは，1つの河川あるいは排水路に流入する排水の発生源の所在範囲を表すものである。これらについては，川崎市土木局河川部編の川崎市河川図<sup>12)</sup>をもとにして算出した。なお，自然地理特性としてはこの他に標高差，地質などが考えられるが，本研究ではこれらは考慮しなかった。

#### 3-2-2 人文特性

人文特性としては，土地利用状況，人口，及び産業の分布など様々なものが考えられる。しかし，本研究の対象河川である平瀬川流域には，大規模な工場などはほとんどないことが明らかにされている。そこで，流入する排水はすべて生活排水であると考え，産業排水などについては考慮しなかった。したがって，本研究における人文特性としては，平瀬川及び各調査対象排水路の流域（集水域）人口とその分布状況を用いた。これらについては，川崎市土木局河川部編の川崎市河川図と川崎市総務局総務部統計課発行の昭和59年川崎市町別世帯数人口<sup>13)</sup>を参考にして算出した。

以上のような平瀬川及び各調査対象排水路の特性を表4に示した。

### 3-3 汚濁発生量

河川あるいは排水路に流入する汚濁物質の発生源としては，一般家庭，工場などの事業所，畜産場な

表4 平瀬川及び各調査対象排水路の特性

排水路	河川への流入地点の形状	幅 (m)	流下距離 (m)	集水域面積 (km <sup>2</sup> )	集水域人口 (人)	備 考
A	開きよ	2.0	1,610	0.98	5,600	支川上流部だが、形状・水質などから排水路とみなした。
B	暗きよ	1.25	1,700	0.73	5,500	途中から2手に分かれる。
C	暗きよ	1.0	2,600	1.13	4,500	本川上流部だが、形状・水質などから排水路とみなした。
D	開きよ	0.8	1,100	0.45	4,100	
E	開きよ	0.9	450	0.19	3,500	上流部は暗きよ、下流部は開きよとなっている。
F	開きよ	0.3	100	0.03	2,500	流れが速く、幅も狭い。
H	開きよ	1.0	750	0.73	4,800	
I	暗きよ	0.9	350	0.15	5,000	全域にわたって暗きよである。
J	開きよ	1.0	650	0.52	5,400	
K	開きよ	1.65	950	0.32	3,900	

	流下距離 (m)	集水域面積 (km <sup>2</sup> )	集水域人口 (人)	備 考
平瀬川	11,500	13.1	90,000	

どからの非自然系のもと、田畑・山林などからの自然系のもので考えられる。そこで、汚濁発生量を次の2通りに分けて考えた。

(a) 非自然系の汚濁発生量

本研究で対象とした平瀬川流域には、大工場ならびに畜産場は存在しなかったため、工場及び畜産場からの汚濁物質の排出はないものと考え、汚濁発生量については一般家庭のものだけを考えた。

一般家庭からの汚濁発生原単位

表5 生活排水の汚濁発生原単位 (g/人・d)

		BOD	TOC	陰イオン界面活性剤	備 考
		住居形式	集合住宅	48.2	—
—	—			3.3	鎗田功ら <sup>15)</sup> (1980)
46	—			2.1	山根敦子ら <sup>16)</sup> (1981)
40	16			3.2	浦野紘平ら <sup>17)</sup> (1983)
39	12			1.5	浦野紘平ら <sup>17)</sup> (1983)
個人住宅	47.9		—	—	Kennethら <sup>18)</sup> (1972)
	31		—	—	大森英昭ら <sup>19)</sup> (1979)
	20		—	3.4	畑中操ら <sup>20)</sup> (1979)
	44	—	—	川島博之 <sup>11)</sup> (1983)	

については、これまでにいくつかの報告がなされており、表5に示したような値が得られている。しかし、汚濁発生原単位は排水の処理形態によって大きく異なり、し尿くみ取り(便槽)・し尿単独処理浄化槽(単独槽)のいずれかが使用されている場合には、雑排水は未処理のまま排出されるので汚濁発



生原単位は大きくなる。これに対して、し尿雑排水合

併処理浄化槽（合併槽）が使用されている場合には、雑排水も処理されるので汚濁発生原単位は小さくなる。

このように、汚濁発生量を決定するには排水の処理形態が重要となる。そこで、川島<sup>11)</sup>、古賀<sup>21)</sup>によって報告された値をもとにして、排水の処理形態別の汚濁発生原単位を表6のように定めた。

処理形式	BOD	TOC	陰イオン界面活性剤
便槽	30	14.0	2.50
単独槽	34	15.9	2.50
合併槽	2.2	2.4	0.04

(b) 自然系の汚濁発生量

本研究は、晴天時（調査日の2～3日前から降雨のない時）を対象としているので、降雨時の山林・道路などの掃流による汚濁負荷は除外した。そこで、通日にわたる流量測定結果から、最低流量を1日積算したものと、（実測排水量）－（人口×生活排水原単位（＝0.25m<sup>3</sup>/人・d））とを比較して自然系水量を決定しそれに自然系排水の水質を乗じて自然系の汚濁発生量を求めた。この時、自然系排水のBOD及びMBASについては、表7の全国の水道原水の調査を参考にし、TOCについては、古賀による数か所の水道原水の実測値を用いて表8のように決

表7 水道原水の水質

浄水場（所在地）	BOD (mg/l)	陰イオン界面活性剤(mg/l)
藻岩（北海道）	—	0.00
東村山（東京）	1.4	0.04
金町（東京）	1.8	0.10
境（東京）	1.2	0.00
長沢（東京）	1.5	—
砧上（東京）	0.8	0.08
小作（東京）	0.9	0.01
長沢（神奈川）	1.3	0.01
潮見台（神奈川）	0.8	0.01
春日井（愛知）	1.4	0.02
豊野（大阪）	1.6	0.02
尼崎（兵庫）	2.0	0.07

表9 平瀬川及び各調査排水路における汚濁発生量(kg/d)

排水路	汚濁		物質
	BOD	TOC	陰イオン界面活性剤
A	136	63	8.4
B	165	77	13.8
C	129	60	9.7
D	123	57	10.3
E	105	49	8.8
F	75	35	6.3
H	145	68	12.0
I	151	71	12.5
J	180	76	13.5
K	126	55	9.8
平瀬川	2,016	952	160

表8 使用した自然系排水の水質(mg/l)

BOD	TOC	陰イオン界面活性剤
1.5	2.0	0.0

定した。

以上のようにして汚濁発生量を求めると、自然系によるものは非自然系によるものの1～2%にすぎず、各排水路における汚濁発生量はほぼ非自然系によるものに等しいと考えられた。そこで、非自然系の汚濁発生量を各排水路における汚濁発生量とし、表9に示した。

## 4 流量及び水質の測定方法

流量及び水質の調査は、図7に示した10の排水路と平瀬川の4地点において、1983年6月から1986年3月にかけて約30回、生活排水の排出量が多い6時から22時（高負荷時）を中心に行い、一部は夜間（0時、2時、4時）調査も実施した。

測定項目は、水温、流量（流速・水深・幅）、DO、導電率、BOD、TOCとし、この他に一部の試料水については、SS成分を除いた溶存BOD（以下DBOD）及び溶存TOC（以下DOC）も測定した。このうち現場では、水温、流量、DO、導電率の測定を行い、その他の項目については試料水を研究室に持ち帰って測定した。

### 4-1 流量の測定方法

流量の測定に当っては、各測定地点の流速と流れの断面積を求めなければならないが、排水路と河川では流量が大きく異なるので、それぞれ以下の様な方法を用いた。

#### 4-1-1 排水路

排水路においては、水深が浅いために流速計が使えないので、流速の測定には浮子を用いた。この場合、浮子を流れの中心付近に一定距離だけ流して、そこを流れる時間をストップ・ウォッチで測定し、流速を求めた。また、排水路は河川に比べて幅が狭く、幅方向の流速分布を測定するのは困難であったので、この中心付近の表面流速をその地点での流速とした。水深の測定は20～50cm間隔で行い、各部分の断面積を求め、その和を各測定地点の流れの断面積とした。これに先の流速を乗じたものから流量を算出した。

#### 4-1-2 河川

河川では、一般に水深によって流速が異なると考えられるが、平瀬川は水深が5～30cmと小さく、水深による流速分布を測定するのは困難であったので、水深の60%付近の位置での流速をその地点での流速とすることにした。流速測定には、中浅測器(株)製回転流速計を用いた。なお、流速が0.6(m/s)未満あるいは1.72(m/s)以上の場合や、水深が5cm以下の場合には上記の流速計が使えないので、排水路と同様に浮子を流して表面流速を測定し、これを流速とした。ただし、河川では幅方向に4～10点（1～2m間隔）で測定を行い、同時に水深も測定した。そして、得られた流速及び水深をそれぞれ単純平均したものを、各測定地点における平均流速・平均水深とした。さらに河川幅を測定し、（平均流速）×（平均水深）×（河川幅）をその地点の流量とした。

### 4-2 採水方法

試料水は、上記のようにして求めた各測定時の流量に比例した水量だけ採水し、コンポジット・サンプルとして研究室に持ち帰った後、水質分析を行った。なお、排水路は幅が狭いので、流れの中心付近

で採水を行った。一方、河川は排水路に比べて幅が広いので、幅方向に2～3点(1～3 m間隔)で同量の水を取り、それらを混合した。そして、試料水は輸送中の曝気を極力少なくするために、ポリ容器にできるだけ満水近く採水し、冷蔵して輸送した。水質測定は、原則として24時間以内に行ったが、止むを得ずすぐに測定できない場合は冷蔵庫に保存し、2日以内に測定した。

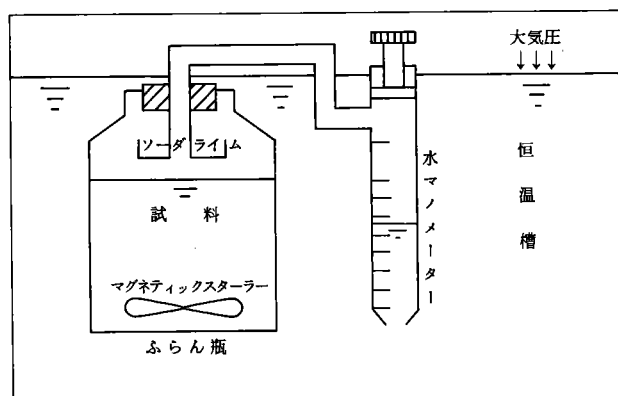


図8 BODテスターの動作原理

### 4-3 水質の測定方法

#### 4-3-1 DO(溶存酸素濃度)及び導電率

DO及び導電率は現場において測定した。すなわち、各測定地点の水を500 mlのプラスチック容器に入れ、容器内の水に電極を入れてゆっくりと振とうし、メータの指針が安定したところで値を読み取った。このうちDOは、水中に生息する微生物の活動に大きな影響を与える因子なので、特に注意を払って測定を行った。なお、DOの測定にはBionics Instrument Co., Ltd.製酸素電極を、導電率の測定には東亜電波工業㈱製携帯用電導度計CM-1Kを用いた。

#### 4-3-2 BOD(生物化学的酸素消費量)

BODの測定には、大洋科学㈱製BODテスターを用いた。テスターの概略は図8に示したようなものであり、動作原理は以下の通りである。

- 1) 20℃に保たれた恒温槽に試料の入ったふらん瓶をセットし、20±0.5℃で5日間放置する。この際、試料には栄養塩類を適量加え、必要があれば植種を行う。
- 2) 試料中の有機物は微生物によって分解され、その時溶存酸素が消費されて二酸化炭素が放出される。
- 3) 放出された二酸化炭素は吸収剤(ソーダライム)によって吸収され、溶存酸素は気相部分より補給される。
- 4) 気相部分の酸素分圧は溶存酸素の補給につれて低下するが、気相部分は常に一定の圧力を保とうとするため、ビューレットの毛細管から水を吸い込み容積変化を起す。
- 5) この容積変化が、消費された酸素量に相当する。

ただし、この場合試料中の有機物の分解以外の原因、たとえば植種した場合の植種液による酸素消費、気温や気圧の変動による圧力変化などが関与するので、純水を用いたブランク試験を同時に行い、これらによる変化分を差し引いて試料1ℓ当りの酸素消費量(mg/ℓ)を求めた。なお、本実験で用いた装置

の水マノメーターの変化  $1\text{ ml}$  は、 $\text{BOD } 7.0\text{ (mg/l)}$  に相当する。

### 4-3-3 TOC (全有機炭素量)

TOCは、ヤマト科学(株)製ウルトラディスペルサーLK型を用いて試料を十分にかくはん、均一化した後、JIS, K0102, 0122をもとに測定した。なお、測定装置には東芝ベックマン(株)製全有機炭素分析計102型を用いた。

## 5 排水路の調査結果

### 5-1 流量

各調査排水路での流量の経時変化の一部を図9～13に示した。これらの図からもわかる通り、流量には9時頃と20時頃の2度にわたり大きなピークが現われた。このピークは、主に家庭での炊事、洗濯、入浴などの排水によるものと考えられ、流量の経時変化は人間の生活パターンと密接な関係があることがわかった。また、このような人為的排水は、ほとんどが6時から22時の間に排出されていると考えられた。

いま、夜間の最低流量が自然系流量であると考えると、ピーク時の流量は自然系流量の1.5～4.5倍となり、両者の割合が排水路によってかなり異なり、これが水質に大きく影響すると考えられた。

各調査排水路での流量の経時変化から、人為的排水のほとんどが流れている6時から22時まで(高負荷時と記す)の水量を図積分によって求めた結果を表10に示した。この表から、同一排水路においても調査日によって水量はかなり変動することがわかった。この原因の1つとして測定誤差が考えられ

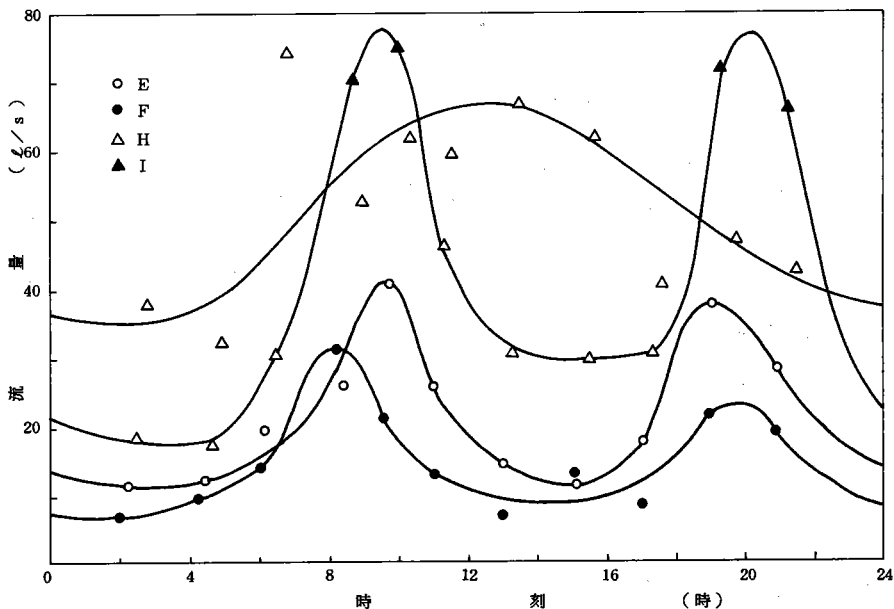


図9 流量の経時変化の例

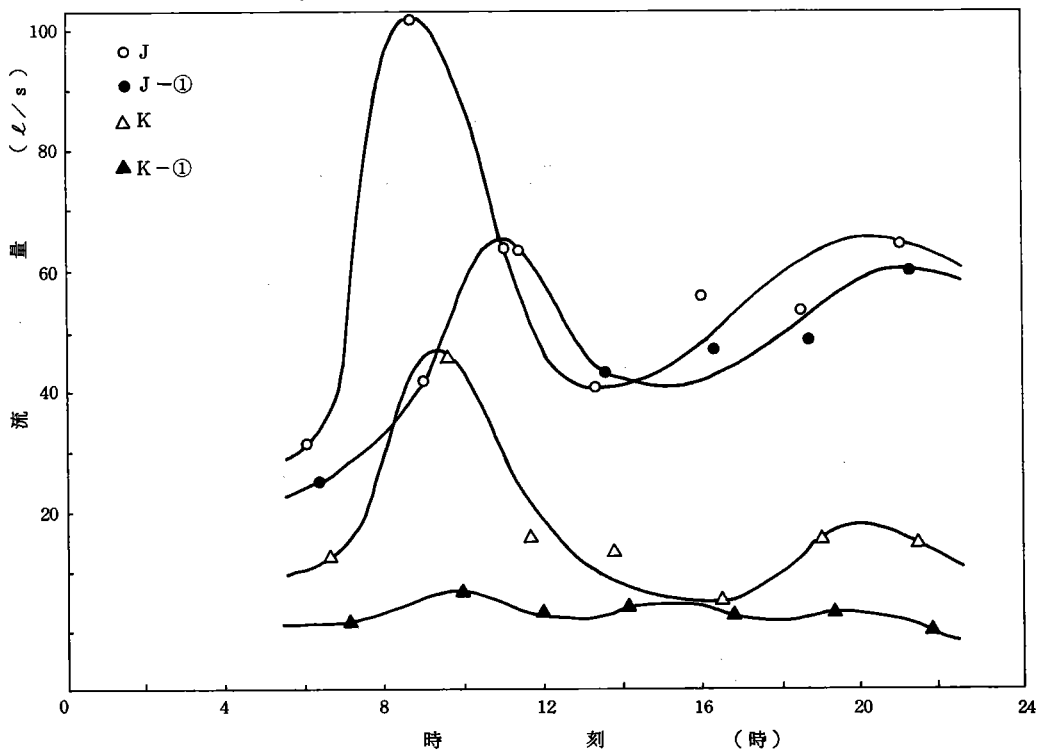


図10 流量の経時変化の例

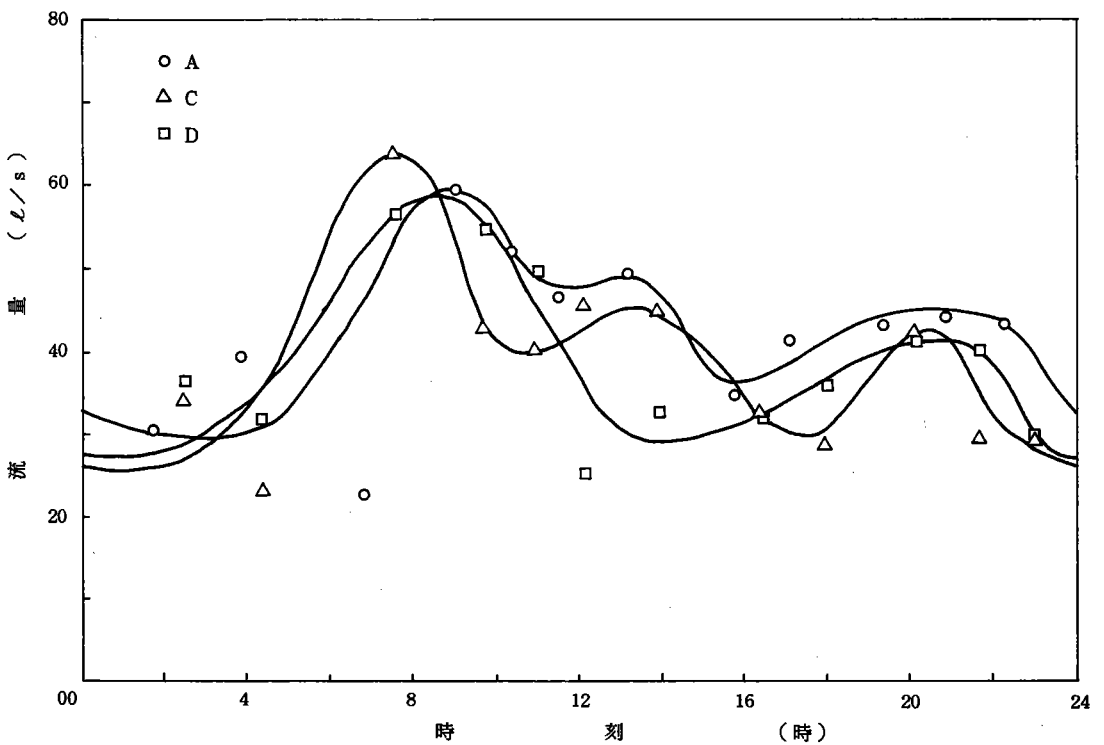


図11 流量の経時変化の例

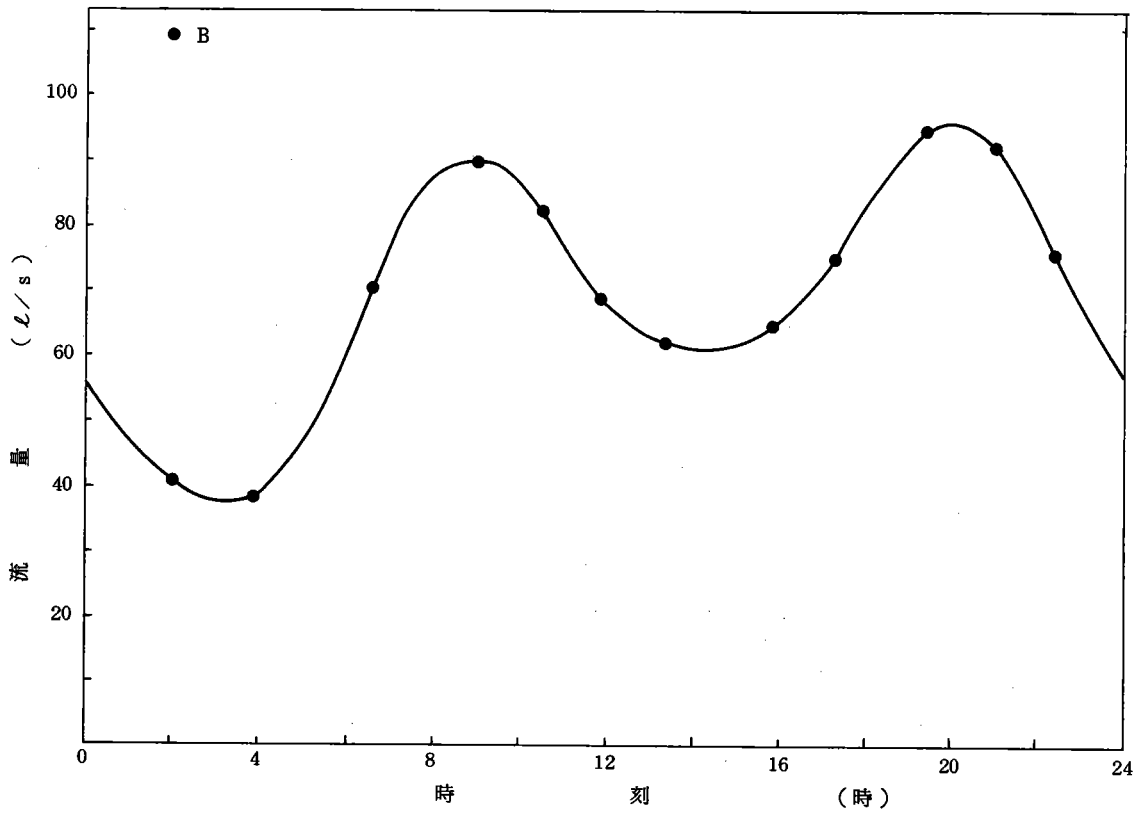


図12 流量の経時変化の例

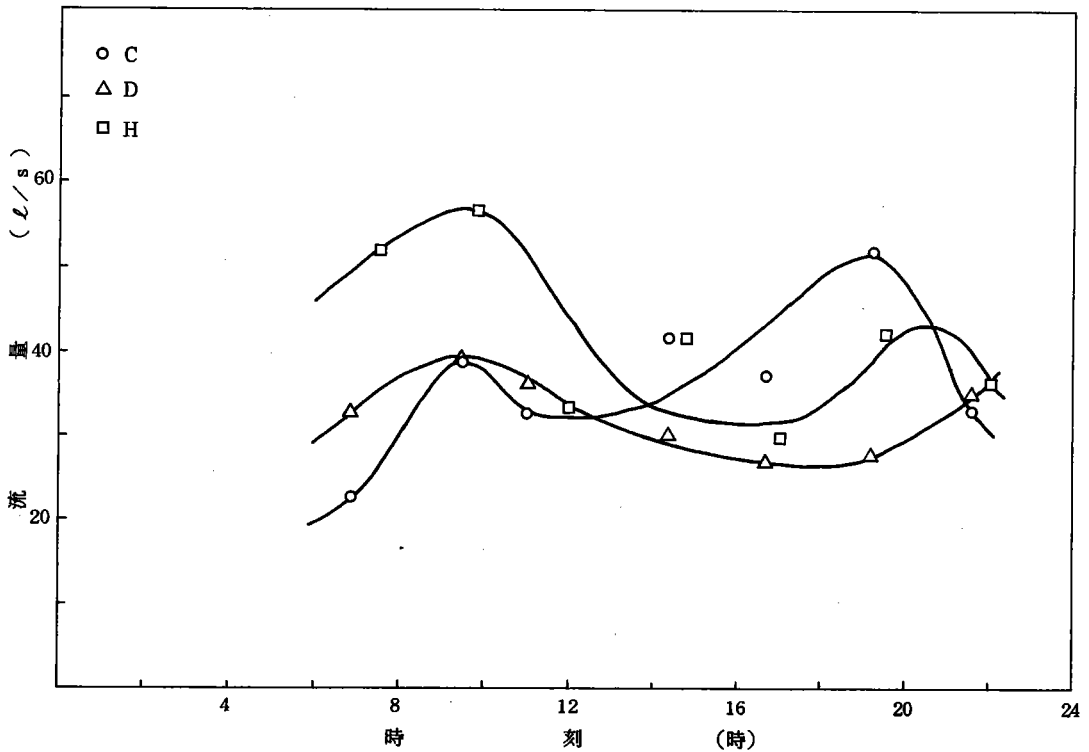


図13 流量の経時変化の例

る。排水路の流量は、流れの中心付近に浮子を流して求めた流速と水深との積から算出したが、浮子の流れる速度は流れの位置や風などの影響を受けやすく、正確な流量を求めることは難しい。さらに、調査日前の降雨によって自然系水量が異なり、水量の違いとして現れたということも考えられた。なお、自然系水量と非自然系水量の比は0.3 : 1 ~ 1.4 : 1となり、季節による水量の明確な変化は見られなかった。

### 5-2 水質

排水路における67回の水質測定値の非超過確率分布を正規確率紙に表すと、図14、15のようにほぼ直線にのったので、BOD、TOCともにほぼ正規分布をしているとみなすことができた。なお、BODの50%値は42 (mg/l)、標準偏差は40 (mg/l)、TOCの50%値は32 (mg/l)、標準偏差は17 (mg/l)となり、水質がかなり悪いことがわかった。

さらに、BODとTOCの相関を図16に示したところ、相関係数rは0.84となり、両者は高い相関を示した。これは、BODが

微生物により主に有機物が分解された時に消費される酸素量を表していることから十分に考えられる。なお、この相関を式表示すると、 $TOC = 0.35 \cdot BOD + 1.79$ となる。

表10 調査対象排水路における高負荷時の水量 (m³)

排水路	調査回数	水量(m³)	排水路	調査回数	水量(m³)
A	1	2620	F	1	1300
	2	2930		2	1080
	3	2800		3	820
	4	3360		4	960
	5	2750		5	800
B	1	2640	H	1	1620
	2	3300		2	1710
	3	2890		3	3300
	4	2710		4	2400
	5	3500	I	1	1130
	6	3230		2	2000
C	1	2880	3	1060	
	2	2310	4	1190	
	3	2940	5	2840	
	4	2820	J	1	3680
	5	2550		2	2310
	6	2130		3	2850
		4		4200	
D	1	2220	K	1	2140
	2	2100		2	1480
	3	2480		3	1220
	4	2330		4	1680
	5	2460			
	6	1800			
E	1	2400			
	2	1200			
	3	900			
	4	1260			
	5	1590			

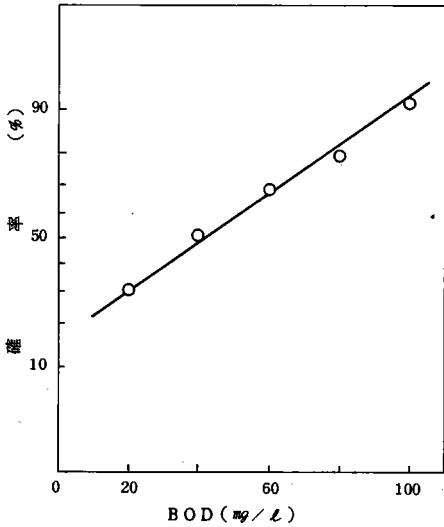


図14 BODの非超過確率(排水路)

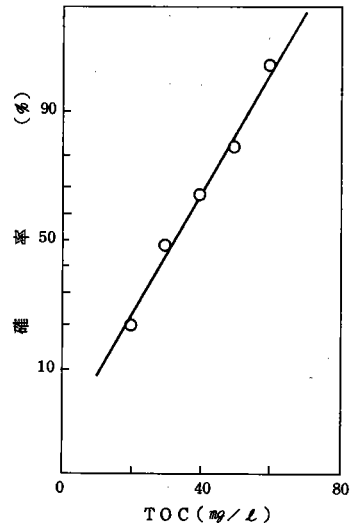


図15 TOCの非超過確率(排水路)

### 5-3 汚濁流出量と汚濁流出率

表11に各調査排水路における高負荷時のBOD発生量、及びBOD流出量を示した。

表からもわかる通り、同一排水路においても調査日によってBOD流出量が大きく違う場合があった。BOD流出量は、実測による水量とコンポジット・サンプルのBODとの積から算出したので、両者の測定誤差が大きく影響したと考えられた。特に排水路B、DではBOD流出率の幅が大きかった。そこで、BOD及び水量の平均値から排水路ごとの平均BOD流出率を求め表12に示した。

BOD流出率は0.22~1.08と大きく異なり、排水路によって浄化能力に差があることがわかった。また、排水路Eについては、測定誤差によってBOD流出率が1を超えてしまったが、この排水路におけるBOD流出率はほぼ1.0と考えられた。

なお、家庭からの汚濁物質は、高負荷時に全発生量の90%が排出されると考えた。

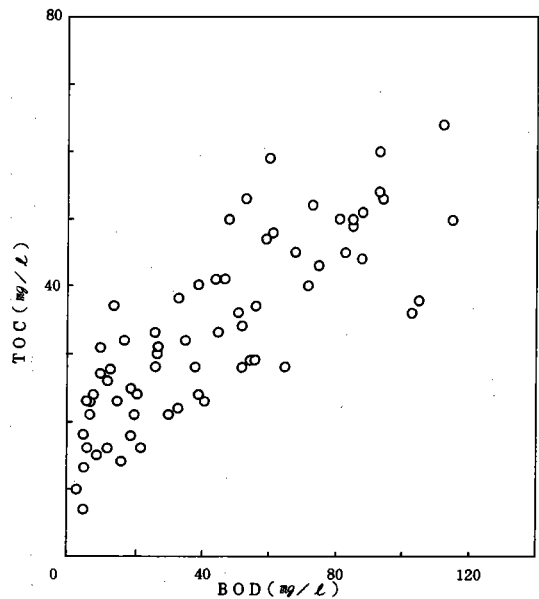


図16 BODとTOCの相関(排水路)



表11 調査対象排水路における高負荷時のBOD流出率

排水路	調査回数	BOD発生量※ (kg)	BOD流出量 (kg)	BOD流出率 (-)	排水路	調査回数	BOD発生量※ (kg)	BOD流出率 (kg)	BOD流出率 (-)			
A	1	122	18	0.15	F	1	68	62	0.92			
	2		41	0.34		2		68	1.00			
	3		48	0.39		3		53	0.78			
	4		19	0.15		4		65	0.96			
	5		25	0.21		5		67	0.99			
B	1	149	73	0.49	H	1	131	42	0.32			
	2		89	0.60		2		69	0.53			
	3		150	1.01		3		72	0.55			
	4		70	0.47	I	1	136	100	0.74			
	5		131	0.88		2		118	0.87			
	6		147	0.99		3		93	0.69			
C	1	116	14	0.12	4	115	0.85	J	1	162	121	0.75
	2		17	0.15	5	164	1.21					
	3		46	0.40	2	118	0.73					
	4		30	0.26	3	160	0.99					
	5		19	0.16	4	140	0.87					
D	1	111	78	0.70	K	1	113	54	0.48			
	2		45	0.41		2		67	0.59			
	3		45	0.41		3		67	0.59			
	4		109	0.98		4		44	0.39			
	5		101	0.91	E	1	95	107	1.13			
	6		73	0.66		2		114	1.20			
E	3	96	1.01	4	90	0.95	5	108	1.14			

※ 表9の90%

表 1 2 調査対象排水路における高負荷時の調査結果の平均

排水路	B O D ( <i>mg/l</i> )	水 量 ( <i>m</i> <sup>3</sup> )	B O D 流出量 ( <i>kg</i> )	B O D 発生量※ ( <i>kg</i> )	B O D 流出率 (-)
A	9.4	2890	30	122	0.25
B	36.1	3050	110	149	0.74
C	9.6	2610	25	116	0.22
D	33.5	2230	75	111	0.68
E	83.4	1230	103	95	1.08
F	75.6	830	63	68	0.93
H	32.0	1810	61	131	0.47
I	72.0	1640	118	136	0.87
J	43.4	3260	135	162	0.83
K	35.8	1630	58	113	0.51

※ 表9の90%

## 6 河川の調査結果

### 6-1 流量

平瀬川①～④の地点での流量の経時変化の例を図17～21に示した。また、平均流量の流下に伴う変化を図22に示した。この図からも明らかなように、流量の変化は排水路の場合と同じような傾向を示した。しかし、ピーク時刻が遅くなり、またピーク時の流量は夜間の最低流量（自然系流量）の2倍程度であった。これは、上流と下流で流入の時間差があるため、及び排水路に比べて自然水の割合がやや大きいためと考えられた。

平瀬川下流河口から2.5km地点での流量の経時変化から、図積分によって求めた高負荷時の積算水量を表14に示した。各調査日の水量は平均水量と比較して0.3～28%の違いがあったが、流量の測定方法からみればこれは止むを得ない誤差範囲であると考えられた。なお、自然系水量と非自然系水量の比は0.6：1～1.4：1となった。なお、季節による水量の変化は、排水路の場合と同様に明確には認められなかった。

### 6-2 水質

平瀬川下流（河口から2.5km）地点における160回の水質測定値の非超過確率分布を正規確率紙に表すと、図23、24のようにほぼ直線にのったので、BOD、TOCともにほぼ正規分布をしているとみなすことができた。なお、BODの50%値は17(*mg/l*)、標準偏差は6(*mg/l*)、TOCの50%値は11(*mg/l*)、標準偏差は5(*mg/l*)となった。また、平瀬川の指定類型はC類型(BODが3.0

～5.0 mg/l) となっているが、実際の水質はその範囲をはるかに超えていることがわかった。

さらに、BODとTOCの相関を図25に示したが、相関係数 $r$ は0.22となり両者にはほとんど相関が認められなかった。この原因としては、排水路において易分解性の汚濁物質がある程度分解され、河川流入後は難分解性の汚濁物質の割合が大きくなったことが考えられる。そのため、微生物による分解率が安定せず、BODがバラついたものと考えられた。

### 6-3 汚濁流達量と汚濁流達率

表15、16に平瀬川の④(河口から2.5km)地点での高負荷時の汚濁流出量、この地点より上流域での汚濁発生量、及び汚濁流達率を示した。この表から、BOD流達量は約450(kg)、BOD流達率は約0.25となった。ただし、このBOD流達率(0.25)は、平瀬川に流入する排水路を含めた浄化能力を表しているので、平瀬川自身の浄化能力はこれよりも低いと考えられる。

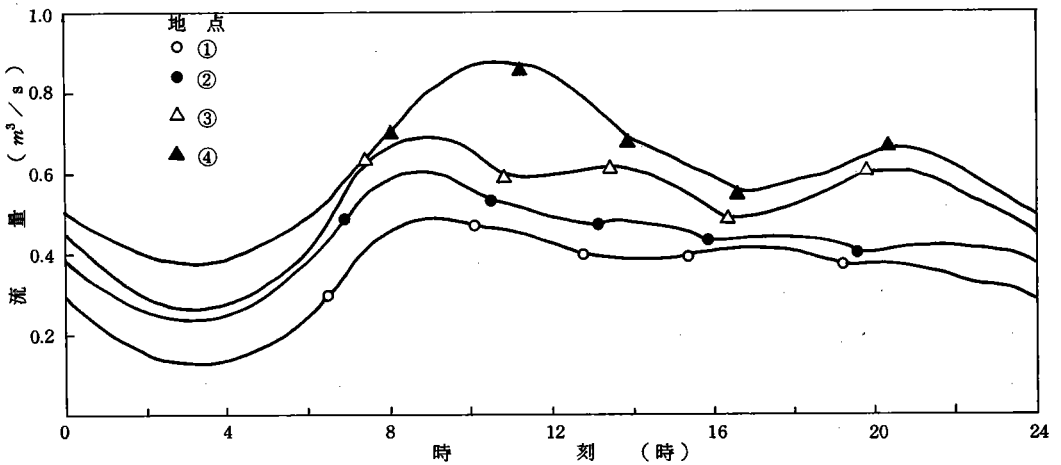


図17 平瀬川流量の経時変化の例

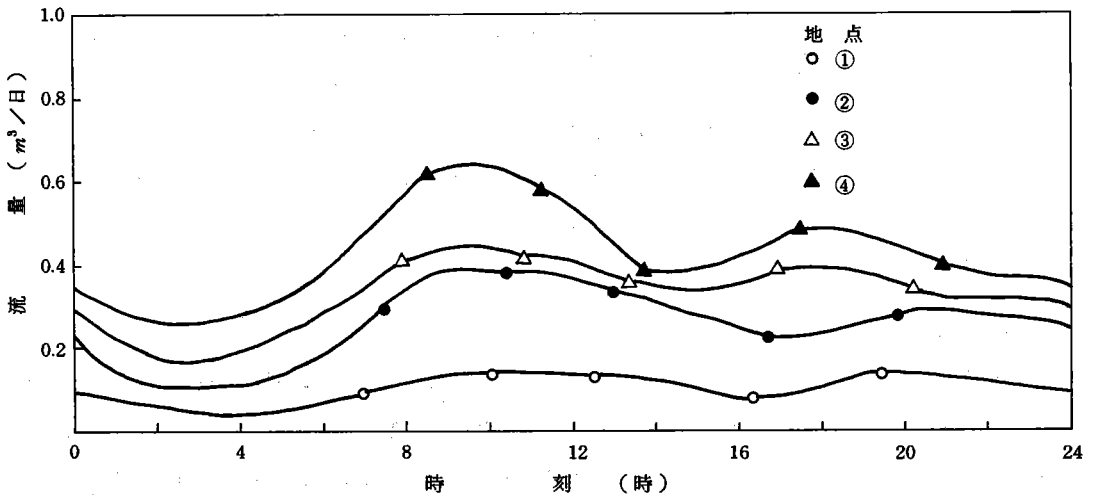


図18 平瀬川流量の経時変化例

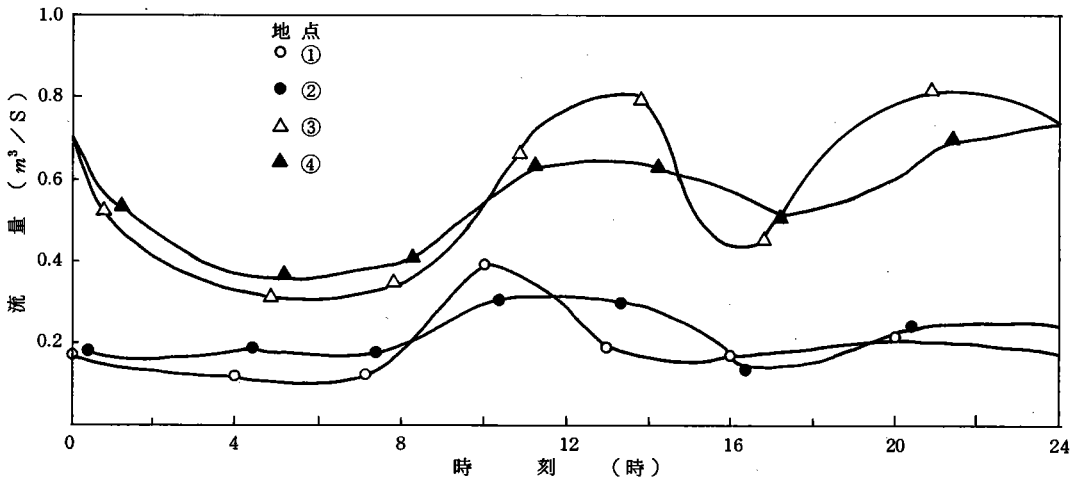


図 19 平瀬川流量の経時変化例

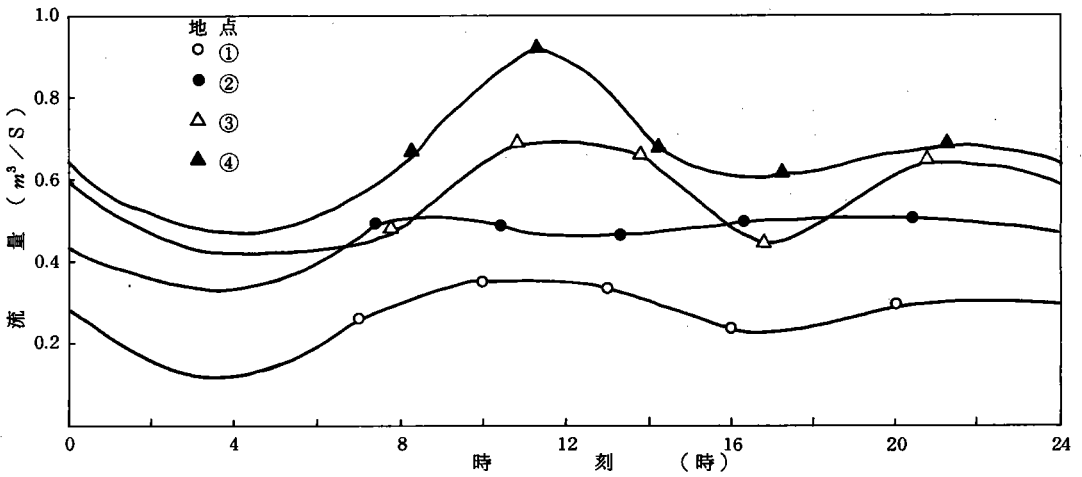


図 20 平瀬川流量の経時変化例

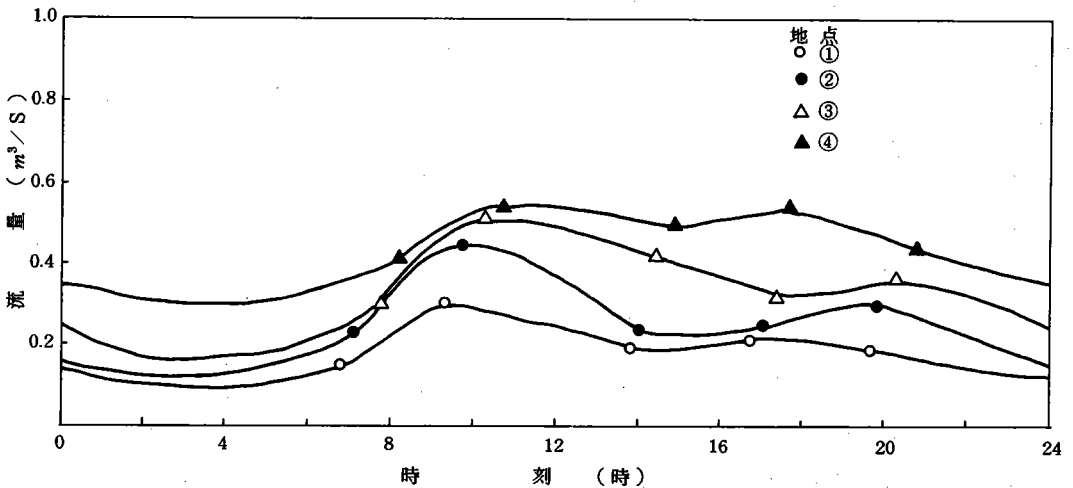


図 21 平瀬川流量の経時変化例

なお、家庭からの汚濁物質は、排水路の場合と同様に高負荷時に全発生量の90%が排出されると考えた。

表 13 平瀬川④(河口から2.5 km)地点における高負荷時の水量( $m^3$ )

調査回数	水量 ( $m^3$ )
1	$3.08 \times 10^4$
2	$2.57 \times 10^4$
3	$2.72 \times 10^4$
4	$2.73 \times 10^4$
5	$2.76 \times 10^4$
6	$3.21 \times 10^4$
7	$3.26 \times 10^4$
8	$3.95 \times 10^4$
9	$2.79 \times 10^4$
10	$3.78 \times 10^4$
平均	$3.09 \times 10^4$

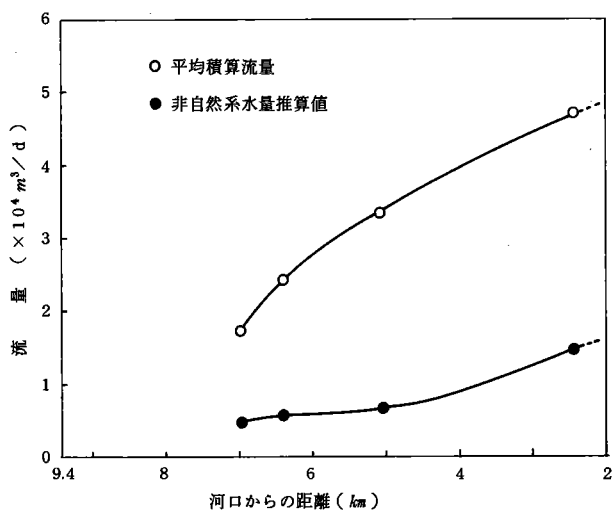


図 2.2 各地点の一日平均流量と非自然系水量推算値

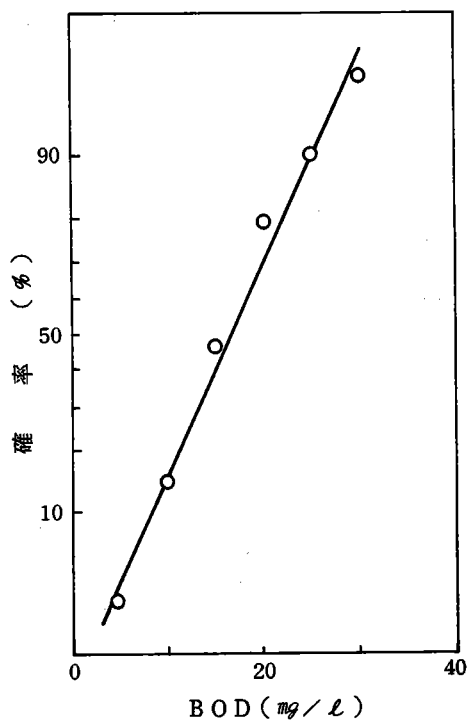


図 2.3 BODの非超過確率(平瀬川)

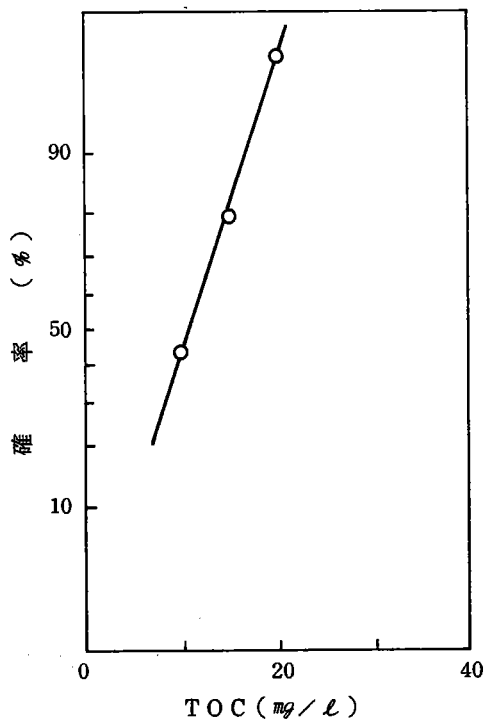


図 2.4 TOCの非超過確率(平瀬川)

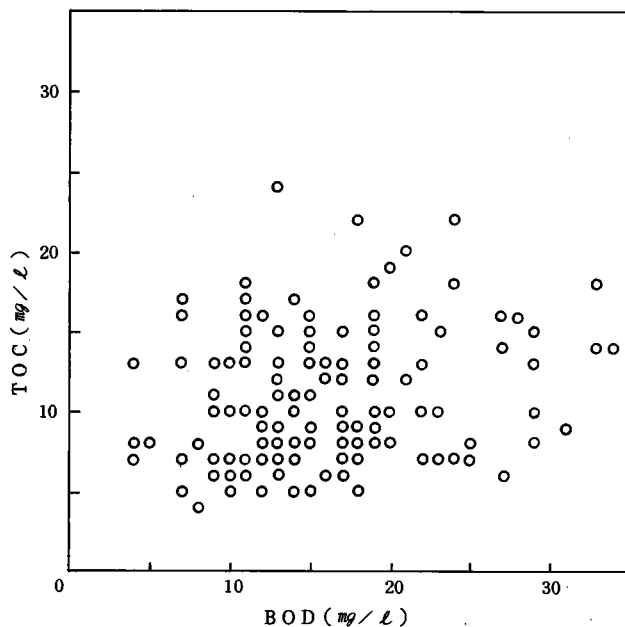


図 25 BODとTOCの相関(平瀬川)

表 14 平瀬川④(河口から2.5km)地点  
における高負荷時のBOD流達率

調査回数	BOD 発生量 (kg)	BOD 流達量 (kg)	BOD 流達率 (-)
1	1810	376	0.21
2		393	0.22
3		397	0.22
4		360	0.20
5		422	0.23
6		411	0.23
7		528	0.29
8		806	0.45
9		502	0.28
10		367	0.20
平均		456	0.25

表 15 平瀬川④(河口から2.5km)地点  
における高負荷時のTOC流達率

調査回数	TOC 発生量 (kg)	TOC 流達量 (kg)	TOC 流達率 (-)
1	952	407	0.43
2		339	0.36
3		196	0.21
4		322	0.34
5		204	0.21
6		411	0.43
7		419	0.44
8		480	0.50
平均		347	0.36

## 7 中小河川の水質予測方法

### 7-1 排水路の浄化能力の解析

#### 7-1-1 シミュレーション方法

本研究では、中小河川の水質予測を行う際に排水路の自浄作用を考慮したが、その考え方は以下の通りである。

多くの排水路では、1本の(基幹となる)排水路から多数の排水路が枝分かれしており、そういった部分でも浄化が行われていると考えられる。そこで、排水路における自浄作用を考える場合に、排水路の集水域全体を図26のような一つの均一な生物反応槽と考えた。つまり、汚濁物質濃度が $C_0$ であるような排水が、均一な状態にある生物反応槽に多数に分かれて等しく流入し、反応槽内で浄化されて濃度 $C$ で流出する、というモデルである。この場合、汚濁物質の減少速度は次式のように表されると考えられる。

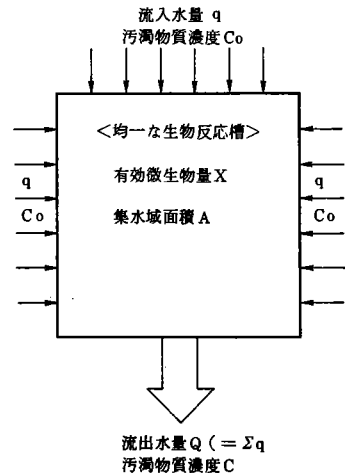


図26 排水路における汚濁物質の浄化モデル

$$-\frac{dC}{dt} = kX'C \dots\dots\dots(13)$$

$K$  : 生分解速度定数 ( $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ )

$X'$  : 集水域内の有効微生物濃度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

よって、反応槽内での単位時間当りの物質収支は(14)式のように表される。

$$CQ = C_0 \Sigma q - kX C \dots\dots\dots(14)$$

$X$  : 集水域内の有効微生物量 ( $\text{g}$ )

$Q$  : 流出水量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

(14)式を整理すると、(15)式が得られる。

$$\frac{CQ}{C_0 \Sigma q} = \frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + kX/Q} \dots\dots\dots(15)$$

#### 7-1-2 シミュレーションによる汚濁流出率の計算

表13の平均水量から流出水量 $Q$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ )を算出し、(15)式を用いて同表中の実測流出率と合うように $kX$ を定めたと、表17のような値が得られた。この $kX$ は、排水路の集水域内における浄化係数に相当するものであり、集水域面積 $A$ に関係するものと考えられた。そこで、表4に示した集水域面積 $A$ と表17中の $kX$ を片対数グラフに示すと、図27のように一点を除いてほぼ直線にのったので、この点を無視して両者の関係式を求めたところ、 $kX = 5 \cdot \exp(4.4 A)$ となった。

この関係式を用いて、集水域面積から $KX$ を求め、これと表13に示した平均水量とから各排水路に

表16 実測流出率に合うようなKX値

排水路	実測流出率 (-)	K X (m <sup>3</sup> /h)
A	0.25	542
B	0.74	67
C	0.22	578
D	0.68	66
E	1.08	—
F	0.93	4
H	0.47	128
I	0.87	15
J	0.83	42
K	0.51	98

表17 実測流出率と計算流出率の比較

排水路	実測流出率 (-)	計算 K X (m <sup>3</sup> /h)	計算流出率 (-)
A	0.25	372	0.33
B	0.74	124	0.61
C	0.22	721	0.18
D	0.68	36	0.79
E	1.08	12	0.86
F	0.93	6	0.90
H	0.47	124	0.48
I	0.87	10	0.91
J	0.83	49	0.81
K	0.51	20	0.84

おけるBOD流出率を計算し、実測流出率と比較したものを、表18及び図28に示したが、この場合も先ほどの一点を除けばほぼ一致した。また、Eの実測流出率は1.08と1を超えてしまったが、このようなことはあり得ないので、測定誤差とみなし1とした。

以上のようなことから、排水路の集水域全体を一つの均一な生物反応槽とみなすことによって、集水域面積からkX値を求めることができ、さらに水量がわかれば各排水路における汚濁流出率が求められることがわかった。

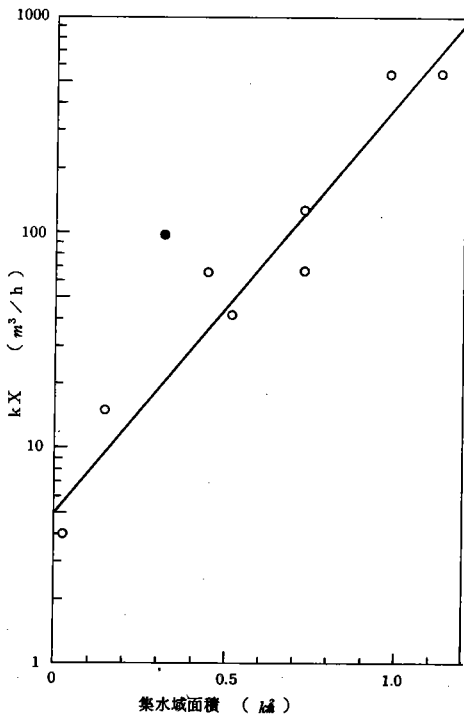


図27 集水域面積とkX値の関係

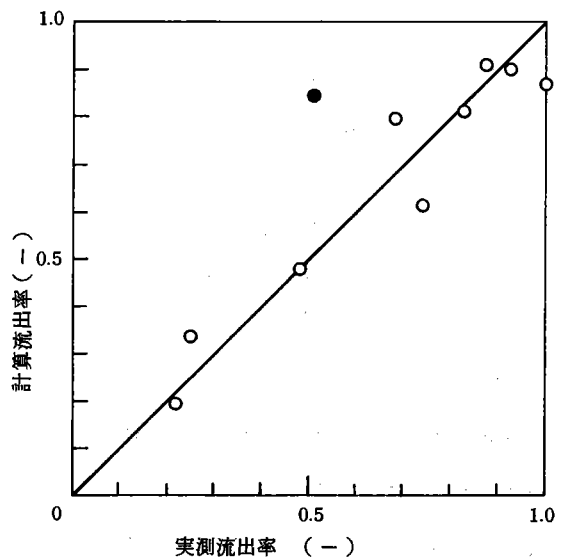


図28 実測流出率と計算流出率の比較



## 7-2 河川の浄化能力の解析

### 7-2-1 シミュレーション方法

中小河川のように水深が小さい場合は、微生物濃度はほぼ底質微生物量によって決まり、汚濁物質は主に底質微生物の生分解によって減少すると考えられる。そこで、水中の汚濁物質量と底質中に吸着している汚濁物質量との間には常に平衡関係が成り立っている（定常状態）と考え、2-2で述べた1)~4)の仮定をもとに、河川を連続多段の完全混合槽であるとした。その模式図を図29に示した。

シミュレーションにあたっては、 $C_0$ により(1)、(2)式のいずれかを用いるわけであるが、調査結果からDOは十分に存在する（ほとんどの場合2~6mg/lの範囲にある）ことが確認できたので、(1)式のみを用いた。

河川を流下方向に長さ $\Delta L$  (m)の短距離区分に分割し、その区分内では汚濁物質濃度は一様であると考え、第*i*区分における単位時間当りの物質収支は(7)式で表され、(1)、(7)式から(8)式が求められる。

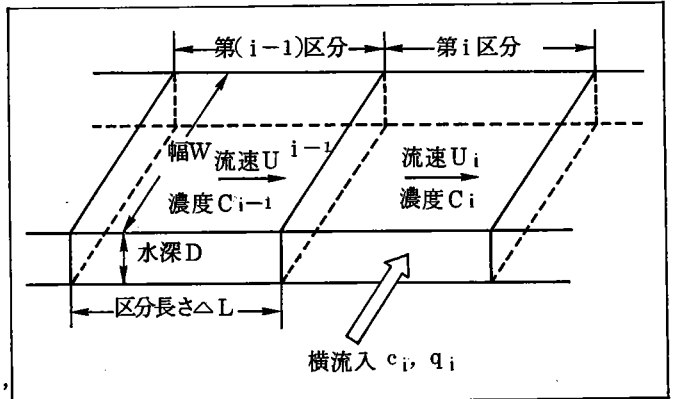


図29 河川のモデル

$$U_{i-1}DW C_{i-1} + c_i q_i = U_i DW C_i + kSW\Delta L C_i \quad \dots\dots\dots (7)$$

$c, q$  : 横流入水の汚濁物質濃度及び水量 ( $g/m^3$ ), ( $m^3/h$ )

$S$  : 河底単位面積当りの有効微生物量 ( $g/m^2$ )

$$C_i = \frac{U_{i-1}DW C_{i-1} + c_i q_i}{U_i DW + q_i + kSW\Delta L} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$(U_i DW = U_{i-1} DW + q_i)$$

この(8)式はさらに次式のように変形できる。

$$C_i = \frac{Q_{i-1} C_{i-1} + c_i q_i}{Q_{i-1} + q_i + kSW\Delta L} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$Q$  : 水量

この(9)式を用いて、河川の自浄作用の解析を行った。ただし、横流入水量は主要な排水路については個別に算出し、他の小さな排水路については各区分に均等流入するとした。また、横流入汚濁物質量は主要な排水路については前述した方法で汚濁流出率を算出して求め、他の小さな排水路については平均流出率を0.8として求めることにした。

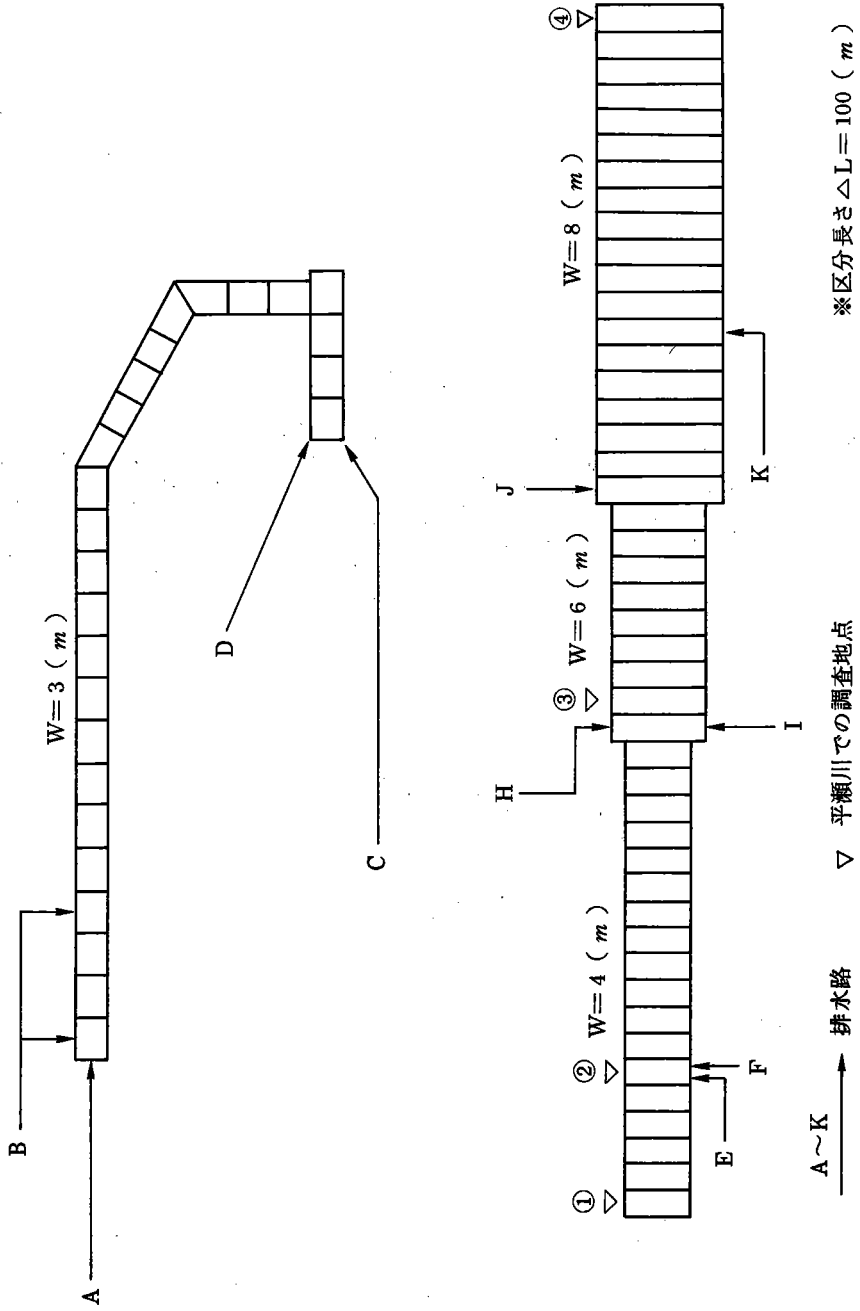


図 3 0 平瀬川流域の模式図

7-2-2 平瀬川の現状水質

表18 主要排水路から河川に流入する排水量及び汚濁物質量

(9式)を用いてシミュレーションを行う際には、区分長さ $\Delta L$ を、100(m)とし、幅 $W$ は図30に示したように段階的に変化させた。また、各区分に流入する排水量及び汚濁物質量は、主要な排水路については表19に、均等流入分については表20に示した。そして、 $kS$ を変えて平瀬川の現状水質(BOD)を計算し、実測平均水質と比較したところ、図31に示したように $kS$ を0.10(m/h)とすれば実測値と計算線はほぼ一致した。この時、生分解速度定数 $k$ は室内実験から $1.2 \times 10^{-3}$

排水路	排水量 (m <sup>3</sup> )	汚濁発生量 (kg)	汚濁流出率 (-)	河川に流入する汚濁物質量 (kg)
A	2890	122	0.33	40
B	3050	149	0.61	91
C	2610	116	0.19	22
D	2230	111	0.79	88
E	1230	95	0.87	83
F	830	68	0.90	61
H	1810	131	0.48	63
I	1640	136	0.91	107
J	3260	162	0.81	130
K	1630	113	0.84	95
合計	$2.12 \times 10^4$	$1.20 \times 10^6$	—	$0.78 \times 10^6$

度定数 $k$ は室内実験から $1.2 \times 10^{-3}$  (m<sup>3</sup>/g·h)<sup>23</sup>程度であることがわかっているので、この値から $S$ は80(g/m<sup>3</sup>)程度となる。これは、平瀬川と同様の都市型中小河川である桑納川(千葉県)で小林<sup>24</sup>)が行った実験によって得られた付着微生物量の値50~65(g/m<sup>3</sup>)に近い値であり、ほぼ妥当であると考えられた。

表19 河川の各区分に均等に流入する排水量及び汚濁物質量

	排水量 (m <sup>3</sup> )	汚濁発生量 (g)	河川に流入する汚濁物質量 (g)
平瀬川全域	$3.09 \times 10^4$	$1.81 \times 10^6$	—
主要排水路	$2.12 \times 10^4$	$1.20 \times 10^6$	$0.78 \times 10^6$
均等流入分	$0.97 \times 10^4$	$0.61 \times 10^6$	$0.50 \times 10^6$

このように、河川に流入する排水路の自浄作用を考慮することにより、河川水質を予測することができると考えられた。なお、排水路の自浄作用を考慮しない場合の計算値と実測値との比較を図23に示す。

7-2-3 平瀬川の将来水質予測

7-2-2で用いた方法により、平瀬川の流域状況が変化した場合、平瀬川の水質がどのように変化するかを予測した。

一例として、平瀬川の河口から5(km)または7(km)より下流域に下水道が100%普及した場合についてBODの予測を行い、その結果を図33に示した。この図のように、河口から5(km)より下流域に下水道を100%普及させれば、河口近くではBODが5(mg/L)以下に改善され、C類型の環境基準が達成されると予測された。

さらに、流域人口が増加した場合や、各家庭の排水処理方法が変化した場合などについても、水質の予測ができると考えられた。

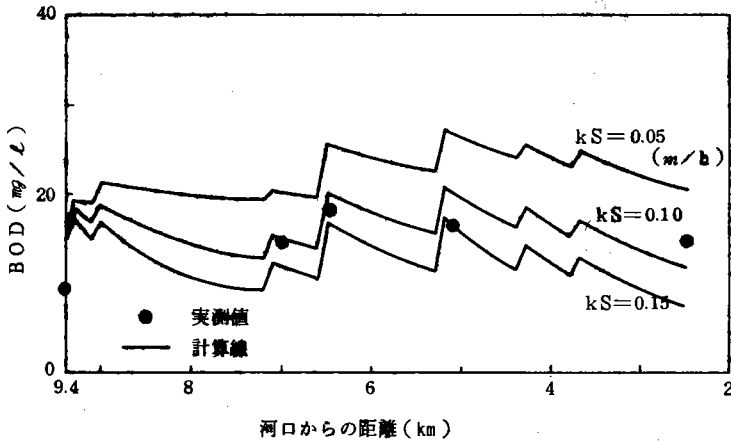


図 3 1 平瀬川におけるシミュレーション

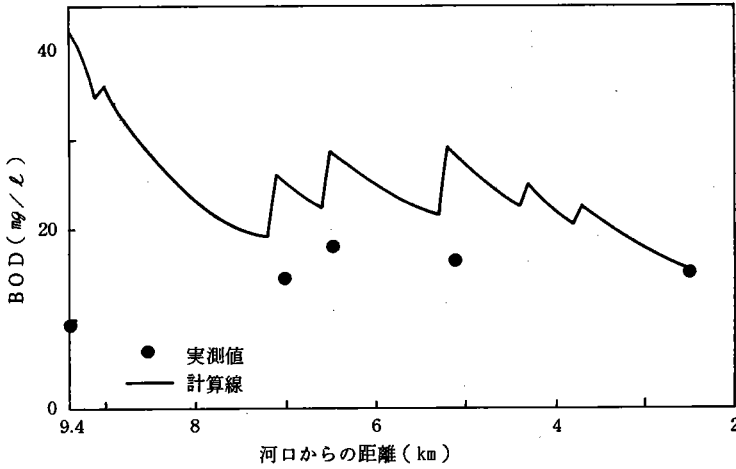


図 3 2 排水路の自浄作用を考慮しなかった場合のシミュレーション

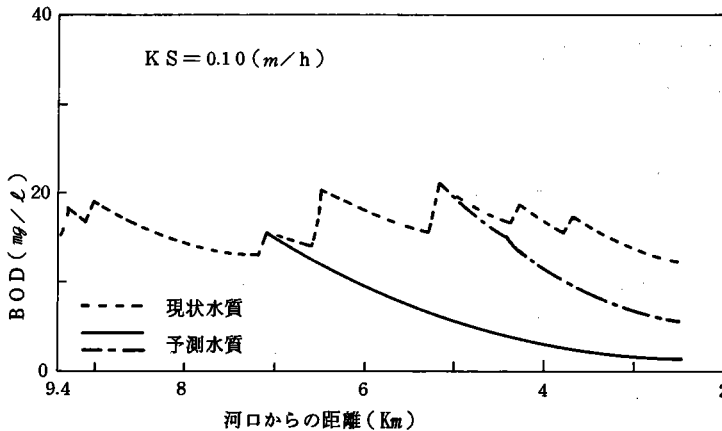


図 3 3 平瀬川下流域に下水道が100%普及した場合の水質予測

## 8 結 言

本研究では、汚濁の著しい都市型中小河川の水質を予測するために、従来は考慮されていなかった排水路の自浄作用について調査、解析し、シミュレーションによって都市型中小河川の水質を予測する方法を検討し、以下のような結論を得た。

### (I) 排水路の現状評価

- (1) 調査排水路の流量には、9時頃と20時頃の2度にわたるピークが現れ、このピーク時の流量は夜間の最低流量の1.5～4.5倍であることがわかった。また、この最低流量を積算したものを自然系水量とみなすと、自然系水量と非自然系水量の比は0.3：1～1.4：1となった。この水量割合と自然水及び非自然水の水質を考えると、各排水路とともに自然系による汚濁負荷は非自然系による汚濁負荷の1～2%程度となり、無視できるほど小さいことがわかった。
- (2) 調査排水路における高負荷時(6:00～22:00)の水質は、排水路によって様々な値を示したが、すべてを合せた排水路全体の水質はほぼ正規分布で表された。そして、BODの50%値は42(mg/l)、標準偏差は40(mg/l)、TOCの50%値は32(mg/l)、標準偏差は17(mg/l)となり、かなり汚濁されていることがわかった。
- (3) BODとTOCの相関について調べたところ、相関係数rは0.84となり、 $TOC = 0.35 \cdot BOD + 17.9$ という関係式が成り立つことがわかった。

### (II) 排水路における汚濁流出率の推算方法

- (1) 調査排水路における高負荷時(6:00～22:00)の平均水量は830～3260(m<sup>3</sup>)、平均水質(BOD)は9.4～83.4(mg/l)、実測流出率は0.22～1.08となり、排水路によって大きく違うことがわかった。
- (2) 排水路の集水域全体を一つの均一な生物反応槽と考えてモデル化を行い、この反応槽に多数の排水が等しく流入し、反応槽内で浄化されて河川に流入すると考え、汚濁流出率を次式で解析した。

$$\frac{CQ}{C_o \Sigma q} = \frac{C}{C_o} = \frac{1}{1 + kX/Q}$$

C：流出水の汚濁物質濃度(g/m<sup>3</sup>)

C<sub>o</sub>：流入水の汚濁物質濃度(g/m<sup>3</sup>)

Q：流出水量(m<sup>3</sup>/h)

q：流入水量(m<sup>3</sup>/h)

k：生分解速度定数(m<sup>3</sup>/g・h)

X：集水域内の有効微生物量(g)

すなわち、排水路の汚濁流出率は、kXと流出水量Qに関係すると考えられた。この時、「kX」は集水域内における浄化係数に相当するものである。実測流出率からkXを求めて集水域面積Aとの関係を調べたところ、 $kX = 5 \cdot \exp(4.4A)$ という関係式が成り立つことがわかった。以上

のようなことから、集水域面積と河川への流出水量から排水路における汚濁流出率を算出できると考えられた。

#### (Ⅲ) 平瀬川の現状評価

- (1) 流量には、ゆるやかではあるが排水路の場合と同様のピークが見られ、このピーク時の流量は夜間の最低流量の2倍程度であった。また、自然系水量と非自然系水量の比は0.6 : 1 ~ 1.4 : 1となり、河川でも自然系による汚濁負荷は非自然系による汚濁負荷の1 ~ 2%程度であり、無視できるほど小さいことがわかった。
- (2) 水質はほぼ正規分布で表され、BODの50%値は17 (mg/l)、標準偏差は6 (mg/l)、TOCの50%値は11 (mg/l)、標準偏差は5 (mg/l)となり、中小河川としては汚濁が著しいことがわかった。
- (3) BODとTOCの間には、排水路の場合と異なり、明確な相関は見られなかった。

#### (Ⅳ) 河川の水質予測方法

- (1) 河川を短距離区分に分割し、各区分はそれぞれ定常状態であるような連続多段の完全混合型生物反応槽であると考えて、次式によって水質を予測する方法を提案した。

$$C_i = \frac{Q_{i-1}C_{i-1} + c_i q_i}{Q_{i-1} + q_i + kSW\Delta L}$$

C : 汚濁物質濃度 (g/m<sup>3</sup>)

Q : 水量 (m<sup>3</sup>/h)

C : 横流入水の汚濁物質濃度 (g/m<sup>3</sup>)

q : 横流入水の水量 (m<sup>3</sup>/h)

S : 河底単位面積当りの有効微生物量 (g/m<sup>2</sup>)

W : 河川幅 (m)

ΔL : 区分長さ (m)

添字 i, i-1 : i 区分, (i-1) 区分

この時、横流入水量は主要な排水路については個別に算出し、他の小さな排水路については各区分に均等流入するとした。また、横流入汚濁物質量は主要な排水路については前述した方法で汚濁流出率を算出して求め、他の小さな排水路については平均汚濁流出率を0.8として求めることにした。

平瀬川について、上式を用いてシミュレーションを行い実測平均水質と比較したところ、自浄作用の大きさを表すkSを0.10 (m/h)とすれば、実測値と計算線が良く一致することが認められた。

- (2) 以上のような方法によって将来水質の予測ができると考えられたので、平瀬川流域の一部に下水道が普及した場合についてBODの予測を行ったところ、河口から5 (km)より下流域の全家庭に下水道が普及すれば、河口でのBODが5 (mg/l)以下となり、C類型の環境基準が達成されると

予測された。

以上のことから、排水路の自浄作用を解析し、これを考慮することによって、従来より一層正確に河川の水質予測を行うことが可能になったと考えられる。

## 9 文 献

- 1) 溝呂木昇, 水質予測計算入門(Ⅳ), 公害と対策, 15, (5), 718 (1979)
- 2) 村上健, 河川自浄作用及び汚濁負荷の流出について, 第5回衛生工学研究発表会講演論文集(1961)
- 3) 稲場, 堂々, 星隅, 汚濁負荷流出率の実態調査, 第9回下水道研究発表会講演集(1972)
- 4) 市川新著, 都市河川の環境科学(1980), 培風館
- 5) 東京湾環境保全調査報告書
- 6) 和田安彦, 下水排除施設未整備地域の汚濁流出率の研究, 下水道協会誌, 13, 144(1976)
- 7) 和田安彦, 河川管理計画における汚濁流出率の研究, 第13回衛生工学研究討論会講演論文集(1977)
- 8) Phelps.E.B著, Stream Samitation, J.W.Ley & Sons (1944)
- 9) 合葉修一, 岡田光正, 大竹久夫, 須藤隆一, 森忠洋, 浅い汚濁河川におけるBOD, DO収支のシミュレーション(第1報)下水道協会誌, 12,(131), 33(1975)
- 10) 合葉修一, 岡田光正, 大竹久夫, 須藤隆一, 森忠洋, 浅い汚濁河川におけるBOD, DO収支のシミュレーション(第2報)下水道協会誌, 12(132), 26(1975)
- 11) 川島博之, 都市河川汚濁回復に関する研究, 東京大学博士論文(1983)
- 12) 川崎市土木局河川部編, 川崎市河川図(1983)
- 13) 川崎市総務部統計課発行, 川崎市町別世帯数人口(1984)
- 14) 神奈川県編, 昭和53年度下水道計画基礎調査報告書(1979)
- 15) 鎗田功, 印旛沼の汚濁と合成洗剤の影響, 用水と廃水, 22,(4), 450(1980)
- 16) 山根敦子, 岡田光正, 須藤隆一, 生活排水に占める洗たく用洗剤に由来する負荷, 下水道協会誌, 18, (210), 11(1981)
- 17) 浦野紘平, 古賀雅隆, 斉藤昌明, 林幸子, 小池順一, 山田健二郎, 家庭からの洗剤等の汚濁負荷, 水質汚濁研究, 6, (5), 311(1983)
- 18) Ligman, K.Hutylen, N.Boyle, W.C.Househld, Wastewater Characterization, Journal of the Environmental Engineering Division EEI, Feb. (1974)
- 19) 大森英明, ろ材レユースYを用いた浸漬ろ床法による生活排水処理, 用水と廃水, 21, (19), 1021(1979)
- 20) 畑中操, 水谷廉, 榎村勉, RL(リングレース)ろ材を用いた浸漬ろ床による生活排水の処理, 用水と廃水, 21, (9), 1032(1979)
- 21) 古賀雅隆, 横浜国立大学工学部安全工学科修士論文(1984)
- 22) 森美則, 横浜国立大学工学部安全工学科卒業論文(1985)

- 23) 鈴木賢二, 横浜国立大学工学部安全工学科卒業論文(1985)
- 24) 小林節子, 着性微生物の剝離による河川水質への影響, 水質汚濁研究, 5, (5), 329 (1982)



付録 河川水質予測計算用プログラム

```

10 ' *****
20 ' *
30 ' * SIMURATION OF HIRASE RIVER (2) *
40 ' *
50 ' * PROGRAMED BY T.AKABOSHI *
60 ' *
70 ' * 1986.3.28. *
80 ' *
90 ' *****
100 '
105 ' .....CALCULATION for COCENTRATION.....
110 '
120 DIM C(100),Q(100),A$(10),A(10),W(100),V(100),P(100),Y(100)
130 '
140 OPEN "LPT:" FOR OUTPUT AS #1
150 '
160 CLS
170 GOSUB 560
180 U=(M-F)/(16*(R/L+1))
190 T=((N-O)/(16*(R/L+1)))*.8
200 I=0
210 Q(O)=V(O)/16
220 C(O)=P(O)*Y(O)/(16*Q(O))
230 FOR I=1 TO (R/L)
240 Q(I)=Q(I-1)+V(I)/16+U
250 C(I)=(Q(I-1)*C(I-1)+P(I)*Y(I)/16+T)/(Q(I)+X*W(I)*L)
260 NEXT I
460 FOR I=0 TO (R/L):PRINT #1,"C(";TAB(3);I;TAB(8);")=";TAB(11)
;C(I);TAB(30);"Q(";TAB(34);I;TAB(39);")=";TAB(42);Q(I):NEXT I
I:PRINT
480 END
540 '
550 ' .....PARAMETER for CALCULATION.....
560 '
570 RESTORE 800
580 FOR K=1 TO 7:READ A$(K),A(K):PRINT K;TAB(4);";";TAB(6);A$
(K);TAB(30);";";TAB(32);A(K):NEXT K:PRINT
590 R=A(1):L=A(2):M=A(3):N=A(4):F=A(5):O=A(6):X=A(7)
600 RESTORE 990
610 FOR I=0 TO (R/L):READ I,W(I),V(I),P(I),Y(I):NEXT I
620 PRINT "Are these right ? (Y or N) "
630 M$=INKEY$

```

```

640 IF M$="Y" THEN PRINT M$:PRINT:GOTO 1910
650 IF M$="N" THEN PRINT M$:PRINT:GOTO 670
660 GOTO 630
670 INPUT "へンコウNo. ";NU:PRINT A$(NU):INPUT A(NU)
680 CLS:FOR K=1 TO 7:PRINT K;TAB(4);": ";TAB(6);A$(K);TAB(30);"
      : ";TAB(32);A(K):NEXT K:PRINT:GOTO 590
690 RETURN

```

```

700 '
800 DATA "ゼンチヨウ",R: (m) ",6900
810 DATA "クブンナガサ",L: (m) ",100
820 DATA "ゼンノスイリヨウ",M: (m3)",3.09E4
830 DATA "ゼンオダクハツセイフカリヨウ",N: (g) ",1.81E6
840 DATA "ヨコリュウニュウリヨウ",F: (m3)",2.12E4
850 DATA "ヨコリュウニュウフカリヨウ",O: (g) ",1.20E6
860 DATA "ジョウカケイスウ",X: (m/h)",0.10
900 '

```

	No.	W(m)	V(m3)	P(g)	Y
1000 DATA	0	-	2.89E3	1.22E5	0.33
1010 DATA	1	3.0	1.53E3	7.50E4	0.61
1020 DATA	2	3.0	0	0	0
1030 DATA	3	3.0	0	0	0
1040 DATA	4	3.0	1.52E3	7.40E4	0.61
1050 DATA	5	3.0	0	0	0
1060 DATA	6	3.0	0	0	0
1070 DATA	7	3.0	0	0	0
1080 DATA	8	3.0	0	0	0
1090 DATA	9	3.0	0	0	0
1100 DATA	10	3.0	0	0	0
1110 DATA	11	3.0	0	0	0
1120 DATA	12	3.0	0	0	0
1130 DATA	13	3.0	0	0	0
1140 DATA	14	3.0	0	0	0
1150 DATA	15	3.0	0	0	0
1160 DATA	16	3.0	0	0	0
1170 DATA	17	3.0	0	0	0
1180 DATA	18	3.0	0	0	0
1190 DATA	19	3.0	0	0	0
1200 DATA	20	3.0	0	0	0
1210 DATA	21	3.0	0	0	0
1220 DATA	22	3.0	0	0	0
1230 DATA	23	4.0	4.84E3	1.10E5	1.00
1240 DATA	24	4.0	0	0	0
1250 DATA	25	4.0	0	0	0
1260 DATA	26	4.0	0	0	0
1270 DATA	27	4.0	0	0	0

1280 DATA	28	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1290 DATA	29	,	4.0	,	2.06E3	,	1.44E5	,	1.00
1300 DATA	30	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1310 DATA	31	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1320 DATA	32	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1330 DATA	33	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1340 DATA	34	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1350 DATA	35	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1360 DATA	36	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1370 DATA	37	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1380 DATA	38	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1390 DATA	39	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1400 DATA	40	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1410 DATA	41	,	4.0	,	0	,	0	,	0
1420 DATA	42	,	6.0	,	3.45E3	,	1.87E5	,	1.00
1430 DATA	43	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1440 DATA	44	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1450 DATA	45	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1460 DATA	46	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1470 DATA	47	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1480 DATA	48	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1490 DATA	49	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1500 DATA	50	,	6.0	,	0	,	0	,	0
1510 DATA	51	,	8.0	,	3.26E3	,	1.62E5	,	0.81
1520 DATA	52	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1530 DATA	53	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1540 DATA	54	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1550 DATA	55	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1560 DATA	56	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1570 DATA	57	,	8.0	,	1.63E3	,	1.13E5	,	0.84
1580 DATA	58	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1590 DATA	59	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1600 DATA	60	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1610 DATA	61	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1620 DATA	62	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1630 DATA	63	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1640 DATA	64	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1650 DATA	65	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1660 DATA	66	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1670 DATA	67	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1680 DATA	68	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1690 DATA	69	,	8.0	,	0	,	0	,	0
1910 RETURN									