

(26) 連続調査による非特定汚染源からの汚濁負荷流出機構解析

STUDY ON NUTRIENT FLOW OUT PROCESS FROM NON-  
POINT SOURCE BASED ON A CONTINUOUS SURVEY

関根雅彦\*・浮田正夫\*・中西弘\*・増野泰造\*\*

Masahiko SEKINE, Masao UKITA, Hiroshi NAKANISHI, Taizo MASHINO

ABSTRACT; This paper describes a new method to study nutrient flow out process from non-point source. We selected asphalt ground, bare ground, a grass slope, a road of an industrial area, and a forest as study basins. At each study basin, we observed runoff concentrations of nutrients (T-N, T-P, COD) and flow rate of runoff during several storms. Then we constructed a box model that contained four compartments: suspended matter, dissolved matter, accumulated matter, and soil. The model had 9 paths which represented nutrient transfers between the compartments and each path had unknown coefficients. Using the Newton-Raphson method, we got the optimal coefficient values and discovered the principal paths of nutrient transfer. The results are as follows.

In each study basin, accumulation of suspended matter and its washout was an important factor. In the case of bare ground and the grass slope, erosion was found to be important. T-P transfer was found to be important only in the paths concerning the suspended matter. On the other hand, T-N transfer appeared in both paths concerning the suspended and the dissolved matter.

Using these results, we presented the pollutograph model for a general catchment basin. The value calculated by the model was in good accordance with the observed data.

KEYWORDS; eutrophication, runoff, non-point source, pollutograph, mathematical programming

1. はじめに

閉鎖性水域における富栄養化問題の原因として非特定汚染源からの流出負荷が注目されるようになって以来、その特性、機構、潜在性等について多くの研究報告がなされている。また、非特定汚染源の流出シミュレーションモデルも都市下水の雨水流出に関連したものを中心として数多く発表されている。しかし、そのほとんどが流出負荷量を統計的、あるいは単純な流量と堆積量の関数で表現しており、非特定汚染の発生機構に立ち入って論じたものは極めて少ない。現実には、土地利用の違いはもちろん、同じ土地利用であっても、土壌の構成物質、勾配、人間活動（交通量等）その他さまざまな要因によって流出負荷量は大きく変化し、汚濁の発生機構の把握なくしては普遍的な予測式を得ることは不可能である。

今回の研究では、著者らが河道内の汚濁物質流下機構の解析において用いた方法<sup>1)</sup>を非特定汚染発生機構解析に応用し、非特定汚染の発生機構に立ち入って現象の特性や機構の解明を試みた。すなわち、まず現状で考え得るすべての機構を含んだモデルを作成し、精度の高い実測値を用いてニュートン法で機械的にカーブフィッティングを行うことにより未知係数を決定する。この係数値を用いて汚濁物質の移動量を計算し、重要な機構を明らかにする。ここでは、モデルの提示が目的ではなく、負荷流出機構内部の移動量を得るためにモデル

\* 山口大学工学部 Faculty of Engineering, Yamaguchi University

\*\* 広島市 Hiroshima City Office

を使用するのであり、モデルによるカーブフィッティングは、大量の実測値に基づく「構造を加味した統計解析」と考えることもできる。

## 2. 非特定汚濁負荷流出モデル

使用したモデルの概念を図1、基礎式を表1に示す。晴天時に堆積した負荷や地面が固有に持っている潜在的な負荷が、降雨により一時的に生じた水流による掃流や溶出あるいは分解等の諸変化を受け、表面流によって現象が伝搬されると考える。

モデルでは、表流水中の汚濁物質を溶解態 (sol 態) と懸濁態 (ss 態) とに分離して考え、地表成分に関しては sol、ss の分離は困難なためトータル量で考えた。また、掃流物には、地表面に晴天時に堆積した物質によるものと地表自身の土壤侵食によるものがあると考えられる。前者は掃流量に限界があり、後者は、降雨に伴い際限無く流出するため、地表成分を掃流限界有りの堆積 a と、掃流限界の無い土壤 f とに分けて考えた。

本モデルを用いてある区間からの流出水濃度を求めるためには、その区間内に存在する表流水量を知る必要がある。この区間内水量の見積りには、Rose<sup>2)</sup> らによる表面流の平均水深を求めるに当たっての近似解理論を引用した。堆積物の掃流式には、掃流量が初期堆積量に比例

し、降雨強度と降雨時間に依存するサトルの式<sup>3)</sup> を適用した。土壤侵食は、USLE式<sup>4)</sup> における。土壤侵食の降雨因子 = 全降雨エネルギー × 最大降雨強度 より、土壤侵食  $\propto$  降雨強度<sup>n</sup> ( $1 \leq n < 2$ ) と考えられるところから、ここでは降雨強度の自乗に比例するとした。一方、土壤からの溶出は地表面積のみに比例するものであるとした。堆積 a への流入分である晴天時降下物 W と人間活動因子 Kman は、地域の人間活動の活発さによって変動する係数であり、自動車の排気ガスやタイヤの摩耗、人間の往来等の人間の諸活動によって引き起こされる負荷を見積るための因子として想定した。表流水中の ss 態  $\rightarrow$  sol 態 という物質変化は考えなかった。これは、 $dt = 1hr$  を想定しているため、この程度の時間スパンでは地表との物質交換の方がはるかに大きいと考えたからである。Ldf, sf, af, fa, f0 の諸量についても、本方法では他の物質移動経路との区別が困難であり、かつ他の経路で代替されうるため、ここでは省略した。その他の移動量については、理論が定まっていないため、すべて存在量に比例するとした。

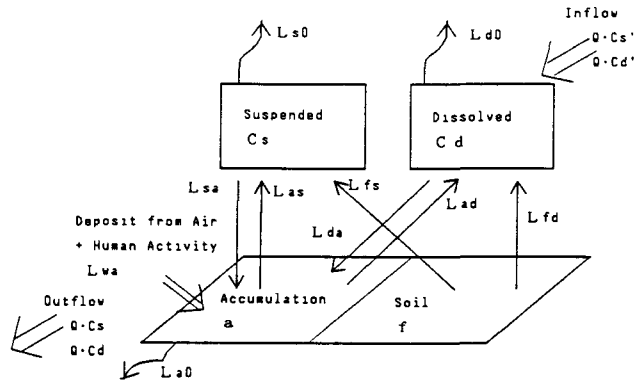


Fig.1 Outline of Model

Table 1 Basic Equations

$\frac{dV \cdot Cs}{dt} = Q_{in} \cdot Cs' - Q \cdot Cs + L_{as} - L_{sa} + L_{fs} - L_{s0}$	... (1)
$\frac{dV \cdot Cd}{dt} = Q_{in} \cdot Cd' - Q \cdot Cd + L_{ad} - L_{da} + L_{fd} - L_{d0}$	... (2)
$A \cdot \frac{dS}{dt} = L_{sa} - L_{as} + L_{da} - L_{ad} - L_{a0} + L_{wa}$	... (3)
$V = kv \cdot A \cdot (1/10)^{0.6}$	... (4)
$Q_{in} = I \cdot A$	... (5)
$Q = kr \cdot I \cdot A$	... (6)
$L_{sa} = k_{sa} \cdot Cs \cdot V$	... (7)
$L_{as} = C \cdot A \cdot \{1 - \exp(-k_{as} \cdot I \cdot dt)\}$	... (8)
$L_{da} = k_{da} \cdot S \cdot A$	... (9)
$L_{ad} = k_{ad} \cdot S \cdot A$	... (10)
$L_{fs} = k_{fs} \cdot A \cdot (1/10)^{0.2}$	... (11)
$L_{fd} = k_{fd} \cdot A$	... (12)
$L_{s0} = k_{s0} \cdot Cs \cdot V$	... (13)
$L_{d0} = k_{d0} \cdot Cd \cdot V$	... (14)
$L_{a0} = k_{a0} \cdot S \cdot A$	... (15)
$L_{wa} = (W + k_{man}) \cdot A$	... (16)

<p>I : Rainfall Intensity [mm/hr]    <math>Q_{in}</math>: Inflow [Q/hr]            I0 : Average Rainfall Intensity [mm/hr]    Q : Outflow [Q/hr]            C' : Inflow Concentration [mg/Q]    V : Water Volume [Q]            C : Outflow Concentration [mg/Q]    A : Catchment Area [m<sup>2</sup>]            S : Amount of Accumulation [mg/m<sup>2</sup>]    L<sub>ij</sub>: Loadings [mg/hr]            W : Deposit from Air [mg/m<sup>2</sup>/hr]    t : Time [hr]            k<sub>ij</sub>: Coefficient [1/hr] (exc. k<sub>fs</sub>, k<sub>fd</sub>: [mg/m<sup>2</sup>/hr])            k<sub>man</sub>: Loading from Human Activity [mg/m<sup>2</sup>/hr]</p>
<p>&lt;Subscript&gt;            s: Suspended Matter    d: Dissolved Matter    a: Accumulation    f: Soil            ij (i, j = s, d, a, f) means i <math>\rightarrow</math> j transfer.            j=0 means decomposition of i.</p>

### 3. 非特定汚濁負荷流出連続調査

#### 3.1 調査方法 対象流域は、アスファルト面、裸地、草地として山口大学工学部構内に3測点、工業地域の不浸透面として宇部港の路面に1測点、山林として山口市馬庭の小河川に1測点を設けた。以上の測点をそれぞれSt. 1~5とする。各測点の流域諸元と採水方法を表2に示す。測定時には、降雨時の流出負荷量を、晴天時の降下物も含めて物質収支が取れる状態で把握することを目的とした。このため、調査期間中の全降雨について、St. 1~4においては採水と流出量測定を、流出初期の約2時間については30分間隔、それ以降は時間の経過と降雨の安定度を考慮しながら1~3時間間隔で行った。また、同時にタイ等を用いて1降雨毎に雨水を採取した。St. 5では1~2時間間隔で採水と流量測定を行った。晴天時降下物およびSt. 5の雨水水質については、調査期間を含む1年以上にわたって全測点にデポジットゲージを設置し、1月毎に回収して降雨量と降下負荷量を直線回帰して評価した。調査結果は1時間毎の流量、濃度としてまとめた。調査間隔が1時間を越える部分では、時間と流量・濃度のグラフを滑らかな曲線で内挿し、1時間毎の値を推定した。降雨強度変動にともない流量が激しく変動する場合には、必要に応じて実測流量を参考として降雨流出率と降雨強度から流量を推定した。この場合には、濃度に関しても、初期高負荷流出の影響のない降雨後半について、流量と濃度の相関からの推定を併用した。

Table 2 Outline of Studied Basins

Condition of Ground	Area[m <sup>2</sup> ]	Slope[-]	Study Period
St.1 Asphalt Ground	667	0.01	1986/6/15 - 7/5
St.2 Bare Ground	35.9	0.088	1986/6/15 - 7/5
St.3 Grass Slope	19.5	0.45	1986/6/15 - 7/5
St.4 Road of Industrial Area (Asphalt)	5680	0.005	1986/9/9 - 9/10 9/16 - 9/20
St.5 Forest	1830000	0.22	1984/12/16 8:00 -12/17 14:00

[Sampling Point]  
 St.1,4: Junction of Gutter into Inlet  
 St.2,3: Trough specially installed in Gutter  
 St.5: Stream

Table 3 Outline of Runoff Concentration

	solCOD [mg/ℓ]	ssCOD [mg/ℓ]	solTN [mg/ℓ]	ssTN [mg/ℓ]	solTP [μg/ℓ]	ssTP [μg/ℓ]
st.1 Asphalt	0.99 ~ 64.2 (6.9)	0.12 ~ 19.6 (2.7)	0.08 ~ 5.73 (0.50)	0.005 ~ 1.54 (0.12)	8.9 ~ 46 (16)	2 ~ 270 (24)
st.2 Bare	2.07 ~ 50.3 (6.3)	0.22 ~ 76.7 (13.4)	0.197 ~ 11.8 (0.62)	0.033 ~ 12.1 (1.16)	12 ~ 880 (49)	23 ~ 1954 (370)
st.3 Grass	2.48 ~ 38.6 (15.7)	0.36 ~ 44.1 (13.3)	0.23 ~ 6.16 (1.47)	0.013 ~ 6.6 (1.13)	12 ~ 240 (80)	9 ~ 1493 (186)
st.4 Industry	1.55 ~ 28.1 (7.2)	0.14 ~ 34.9 (4.3)	1.19 ~ 12.1 (3.28)	0.005 ~ 113 (2.60)	42 ~ 1348 (284)	2 ~ 2602 (241)
st.5 Forest (Surface flow)	1.25 ~ 4.45 (2.6)	0.01 ~ 5.27 (1.5)	0.47 ~ 0.92 (0.71)	0.003 ~ 0.19 (0.06)	7 ~ 25 (14)	1 ~ 21 (7)

[Notice] Minimum ~ Maximum (Average)

#### 3.2 調査結果

調査で得られた結果より、各地点の濃度変動の概要を表3に示す。アスファルト面ではsol CODでピーク値が高い場合がみられるものの全体に濃度は低い。草地からの流出濃度が高いのが目立つ。工業地域ではsol 態、ss 態共にT-N, T-Pの濃度が高い。裸地ではssCOD、ssT-Pの濃度が高い事が目を引く。山林では全体に濃度が低い。同じアスファルト面であっても人間活動の違いによりSt. 1とSt. 4で大きな相違が見られる。また、裸地、草地等土壌侵食が考えられる地点でss 態濃度が高い傾向にある。

### 4. モデル係数の決定

#### 4.1 最適係数決定方法

いま、2. で述べたモデルを用いて、降雨量・雨水濃度から流出水濃度をシミュレートすることを考える。モデルには多くの係数があり、既往の研究からある程度の目安がつけられるものもある一方で、文献・調査からの評価が困難なものも含まれている。しかし、モデルの機構がある程度現実に近いものであり、かつ現象を反映した十分な値の変動を含む実測データが得られるならば、シミュレーション結果と実測データができるだけ合致するような係数値を求めてやることによって、少なくとも物質移動に対する重要度の目安となるような係数値の大小関係を得ることが可能であると考えられる。すなわち、ここでは理論的・実験的に求められた係数値から実測データに合致する計算結果を得る事を目的とするのではなく、計算結果が実測値に合致するよう未知係数を調整してやることで、得られた係数値から未知の物質移動量を推定することを目的としている。言い替えると、ここに述べる係数決定方法は、重回帰分析等と同様の多変量解析手

法に、現象の機構に対する理解を加味したものと言える。従って、本方法で求められた物質移動量は、あくまでも統計的な可能性を示しているにすぎないが、実測値の精度とモデルの近似度が高まれば、現実に近いとゆくと考えられる。

ここで、シミュレーション結果と実測値の合致度を示す評価値Eを表4のように定義してやると、最適係数を求める問題はある係数Kijについて、Eの最小値をとるKijを求める問題に帰着する。このため、ニュートン法を用いてすべてのKijについて $\partial E / \partial K_{ij} = 0$ なる点を求めるコンピュータプログラムを作成した。なお、係数ではないが測定困難な初期堆積量も、 $K[ai](mg/m^2)$ として係数の形で与えた。

本モデルのように係数が多い場合、 $\partial E / \partial K_{ij} = 0$ を満たす係数の組合せが1通りには定まらない場合が多い。そのため本プログラムでは、各Kijに対してとりうる値の範囲を設定できるようにし、初期堆積量等のように文献値が得られるものについてはそれらを参考にして、極端な係数値に停留しないよう留意した。また、アスファルトからの土壌流出のように明らかに影響が小さいと考えられるものについては最初から係数値を固定し、無駄な計算を省いた。さらに、各係数毎に評価値に影響する感度が異なるため、まず感度の低い係数値を固定して感度の高いものについて係数値を決定し、その後残りの係数値を定めるという方法を取った。

ただし、この方法では、先にも述べたように検証用の実測値が十分な精度と量を持っている事が必要である。この点でSt.4, St.5のデータ数はやや不足していると考えられる。このため、本研究ではまずSt.1~St.3のデータを用いて係数を求め、St.4, St.5ではそれぞれSt.1, St.3の係数をもとにして調整するという方法を取った。

なお、St.5における測定濃度・流量には、地下水成分をも含んでいる。本モデルでは表流水成分しか評価できないため、近年注目されているフィルター分離法<sup>5,6)</sup>を用いて表流水成分の分離を行い、表流水成分についての係数を評価した。

Table 4 Objective Criteria

$E = E_{Cs} + E_{Cd} + E_{Ls} + E_{Ld}$
$E_{Cs} = \frac{1}{n} \sum \left( \frac{C_s - C_s'}{C_s} \right)^2$
$E_{Cd} = \frac{1}{n} \sum \left( \frac{C_d - C_d'}{C_d} \right)^2$
$E_{Ls} = \frac{1}{n} \sum \left( \frac{L_s - L_s'}{L_s} \right)^2$
$E_{Ld} = \frac{1}{n} \sum \left( \frac{L_d - L_d'}{L_d} \right)^2$
$C_s$ : Observed ss' Concentration [mg/l]
$C_d$ : Observed sol' Concentration [mg/l]
$C_s'$ : Calculated ss Concentration [mg/l]
$C_d'$ : Calculated sol Concentration [mg/l]
$\bar{C}_s$ : Average of $C_s'$ [mg/l]
$\bar{C}_d$ : Average of $C_d'$ [mg/l]
$L_s$ : Observed ss Loading [mg/hr]
$L_d$ : Observed sol Loading [mg/hr]
$L_s'$ : Calculated ss Loading [mg/hr]
$L_d'$ : Calculated sol Loading [mg/hr]
$\bar{L}_s$ : Average of $L_s'$ [mg/hr]
$\bar{L}_d$ : Average of $L_d'$ [mg/hr]
$E_{Cs}$ : O.C.' for ss Concentration
$E_{Cd}$ : O.C. for sol Concentration
$E_{Ls}$ : O.C. for ss Loading
$E_{Ld}$ : O.C. for sol Loading
$E$ : Total Objective Criteria
$n$ : Data Number
[*] O.C.:Objective Criteria
ss:Suspended Matter sol:Dissolved Matter

4. 2 結果および考察

求めた最適係数値を表5、カーブフィッティングの例を図2に示す。計算はdt=1hrで行った。また、最適係数値より計算した物質移動量の降雨期間中の平均値を図3に示す。図3より、裸地、草地では土壌流出が非常に重要であることがわか

Table 5 Optimal Coefficient Values

Area[m <sup>2</sup> ] kr[-]	Asphalt Ground 677 0.93			Bare Ground 35.9 0.7			Grass Slope 19.5 0.45			Industrial Area 5680 0.7			Forest 1830000 0.22		
	COB	N	P	COB	N	P	COB	N	P	COB	N	P	COB	N	P
sa[1/hr]	0	5.7	0.98	2.3	5	1.9	1.5	2.3	1.9	0	0.03	0.98	0.34	1.7	1.4
as[1/mm]	0.018	0.0045	0.05	0.58	0.037	0.25	9.8	0.017	0.2	0.03	0.1	0.05	0	0	0.032
da[1/hr]	1.8	2.5	0.024	0.25	4.9	0.14	0	1.4	0	1.75	2.5	0.024	0.045	0.65	0
ad[1/hr]	0.074	0	0.02	0.011	0.011	0.011	1.1	0	0.016	0.074	0	0.02	0.11	0	0.052
fs[mg/m <sup>2</sup> ·hr]	0	0	0	1.5	0.075	0.033	1.1	0.078	0.014	0	0	0	1.3	0.2	0
fd[mg/m <sup>2</sup> ·hr]	0.02	0.48	0.0048	4.7	0.13	0.022	5.1	1.9	0.028	0	0.48	0.0048	0.85	9.1	0
so[1/hr]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0
do[1/hr]	0.026	0	0.034	0	0.250	0	0	0.560	0	0.026	0	0.034	0.074	0.820	0.860
ao[1/hr]	0.028	0.064	0.024	0.485	0.036	0.016	0.750	0.083	0.098	0.028	0.064	0.024	0.350	0.200	0.066
vv[l/m <sup>2</sup> ]	0.160	0.160	0.160	0.114	0.114	0.114	0.164	0.164	0.164	0.160	0.160	0.160	5.7	5.7	5.7
mn[mg/m <sup>2</sup> ·hr]	8.3	1.1	0.012	8.3	1.1	0.012	8.3	1.1	0.012	12	1.2	0.0118	0	0	0
ai[mg/m <sup>2</sup> ]	220	12	1.4	200	61	7	19	97	0.88	120	20	8	120	100	3.9
v[mg/m <sup>2</sup> ·hr]	0.28	0.066	0.011	0.28	0.066	0.011	0.28	0.066	0.011	1.38	0.13	0.011	0.28	0.066	0.011

る。また、いずれの場合でも堆積・掃流が大きなウェイトを占めている。T-Pでは土壌流出、堆積・掃流以外の項目は極めて小さく、リンが懸濁物質と密接に関わっていることを反映している。一方、T-Nでは溶存態物質の関わる項目も比較的大きく、土壌からの溶出等が見られる。また、堆積からの系外損失も特徴的である。特に山林でこの作用が顕著である。山林はデータ数が少ない事もあり絶対値としては疑問が残るものの、植物による利用等の効果が含まれていると考えられる。CODはこれらの中間的なものである。

次に、土地利用毎の移動経路の比

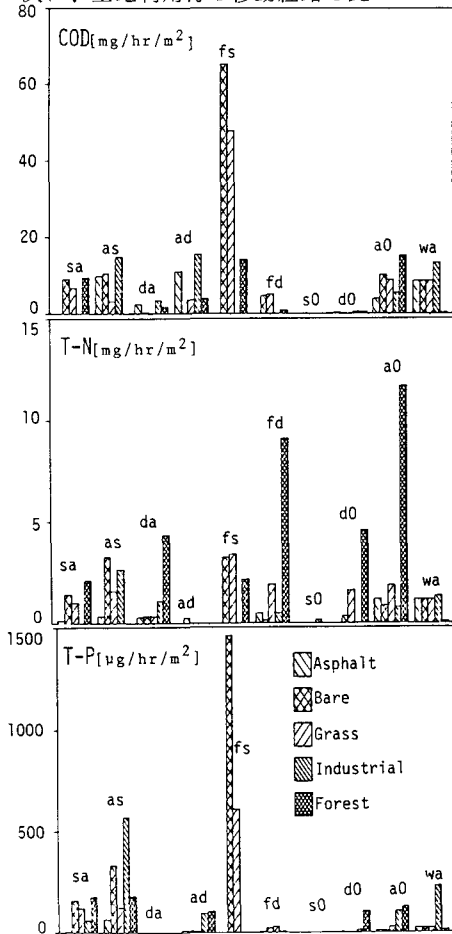


Fig.3 Average of Transfer Amount in Storms

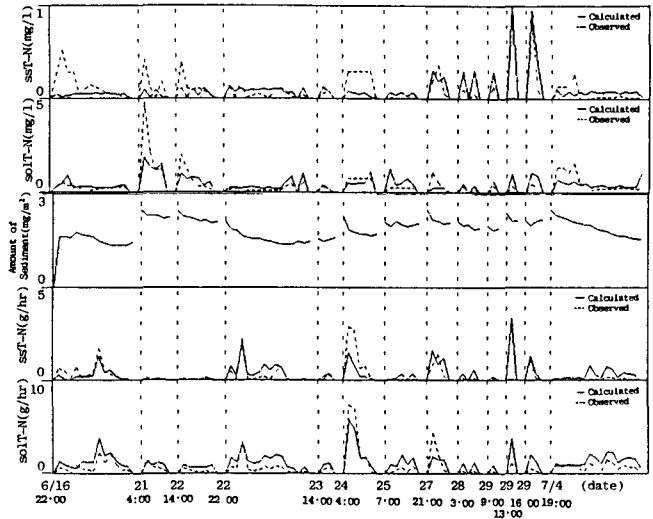


Fig.2 An Example of Optimal Solution

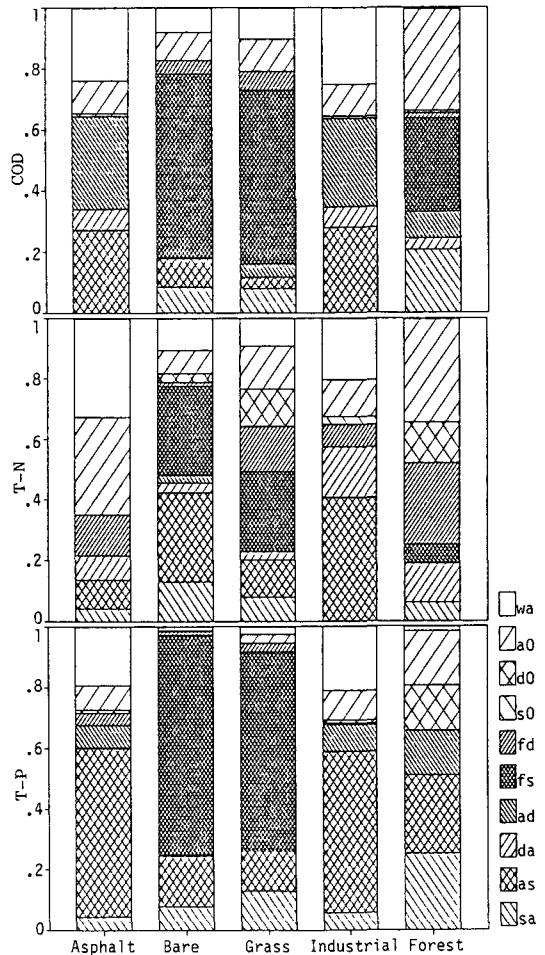


Fig.4 Distribution Ratio of Transfer Paths

率を図4に示す。これより、裸地、草地、山林では土壤侵食の見積が大切であることがわかる。また、アスファルト面では堆積からの掃流、溶出、人間活動による堆積が重要である。また、全般に堆積からの系外損失（分解あるいは植物等による利用）、掃流、堆積が比較的大きなウェイトを占めている。逆に影響が少ないものとしては、sol 態物質の堆積への移行、COD、T-Pでの土壤からの溶出、ss 態の分解等が挙げられる。

既存の研究成果には、本計算結果と直接比較できるものはきわめて少ないが、路面堆積量にはいくつか報告が見られる。Sartor 等<sup>3)</sup>によれば、路肩距離当たりの路面堆積物存在量は、CODでは、26.8 kg/km、TPでは0.31 kg/kmである。これを道路幅15mとして、道路面積当たりの負荷量に換算すれば、CODは1.79 g/m<sup>2</sup>、TPは21 mg/m<sup>2</sup>である。また中村<sup>7)</sup>によれば、路面堆積量はCODで7~16 (kg/ha)である。これを換算すると、0.7 g/m<sup>2</sup>~1.6 g/m<sup>2</sup>となる。以上より、路面堆積量はCODが700~1790 mg/m<sup>2</sup>、TPでは21 mg/m<sup>2</sup>前後の値であろう。一方、本計算結果による堆積量は、COD、T-Pの順にST.1で100~250、0.1~0.4、St.4で100~500、1~10 (いずれも mg/m<sup>2</sup>)であった。本計算結果の値の方がいくぶん小さいが、オーダー的には一致していると考えて良からう。

これらの結果は、ある部分は知見としては目新しいものではなく、また細部についてはさらに検討が必要であるが、単なる水質の時系列分析から以上の結果が抽出されたという点が重要である。

### 5. 総合流域へのモデルの適用

モデルを提示するのが本研究の目的ではない、という本来の姿勢からは少し離れることになるが、本モデルを総合流域に適用する際の考え方を示すため、4. で行った土地利用別係数値を基礎として、本モデルを宇部市内を流れる2級河川、真締川に適用し、本モデルの有効性を検討した。

#### 5. 1 計算方法 対象流域の土地利用区分を図5に示す。土地利用としては、住宅地、田、畑地、裸地、山林が複合したものである。加えて、住宅等の点汚染源の存在や、田畑に対する施肥など、複雑な要因が含まれている。検証データとしては我々が真締川で行った連続負荷量調査<sup>8)</sup>結果のうち、真締川上流で採水した昭和61年6月5日から7月21日にかけての毎日流量・負荷量を用いた。また、真締川水質データは河川水の濃度であるため、山林と同様にフィルター分離法を用いて表面・中間・基底の各成分に分離した。実測値と計算値の比較には、モデルで求めた表面流出の負荷量に、フィルターにより実測値から分離された中間・基底流出負荷量を加えたものを用いた。

流域内での発生負荷量は、点源、水田、畑別に原単位計算により求めた。流域の発生負荷量を表6に示す。水田・畑における発生負荷量は施肥と考え、それぞれのモデルにおける堆積aに対する入力とし、毎時間一定値で施肥されるものとし

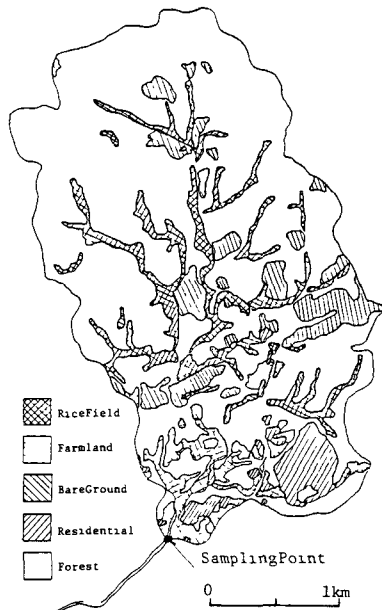


Fig.5 Land Use of MAJIME river Catchment

Table 6 Discharged Loadings of MAJIME river Catchment

	Discharged Loading		
	COD	N	P
<b>Point Source</b>			
	g/h r		
Nightsoil	754	512.5	57.4
Residential Waste Water	804	100.5	31.2
Livestock Waste Water	2	3.8	0.23
SUM	1560	616.8	88.83
<b>Nonpoint Source (Farmland)</b>			
	g/h r		
Livestock Pig(dung)	1.767	0.455	0.303
Cattle	0.221	0.075	0.01
Fowl	0.008	0.003	0.001
Fertilizer	g/h r		
bean	1396	116	70
potato	605	71	30.4
vegetable	10713	1285	535.4
wheat	885	126	44.3
SUM	13601	1598	680.4
<b>Nonpoint Source (Rice Field)</b>			
	g/h r		
Rice	10729	1233	538

た。また点源からの流出は、非特定汚染源による負荷とは別に流出してくるものとし、発生負荷量に流出率  $f$  を乗じた流出負荷量を求め、これをモデルによる流出負荷量に加算した。なお、この時、流出負荷量を晴天時の河川水質の  $sol$ ,  $ss$  比で分割した。流出率  $f$  は、

$$f = \exp(-k \cdot \sqrt{B})$$

ここで  $k$  : 減少係数 [ $1/km$ ]  $B$  : 全流域面積 - 山林面積 [ $km^2$ ] である。

$k$  値は、COD: 0.36、TN: 0.45、TP: 0.46 を用いた。これは真綿川 (中村橋) における昭和59年度の平均減少係数である<sup>9)</sup>。

以上の手順を図6に示す。点線で囲まれた範囲が、本モデルを用いた部分である。モデルの係数値はポルトグラフを実測値と比較することにより微調整を行ったが、基本的には田、畑、裸地についてはSt.2、住宅地はSt.1、山林についてはSt.5の値をそれぞれ用いた。

### 5. 2 結果および考察

最終的に使用した係数を表7に示す。また、計算値と実測値のポルトグラフの一例を図7に示す。

図より、実測の負荷量はピークの後急激に減少するものの、数日間は晴天期よりも高い値を保持し続ける。一方計算値では、ピークの後一気に0近傍まで負荷量が減少している。これは中間流出分の負荷の実測と計算との違いにより生じている可能性が高く、フィルタ

LOADINGS FROM POINT SOURCE USING UNIT LOADING METHOD

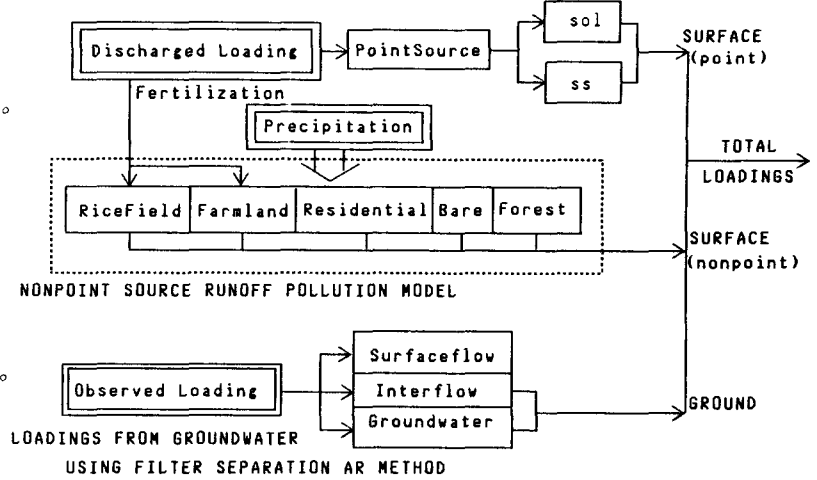


Fig.6 Outline of Simulation for General Catchment Basin

Table 7 Coefficient Values for MAJIME river Catchment

Area[m <sup>2</sup> ] k[-]	Rice Field 1330000 0.4			Farmland 280000 0.35			Bare Ground 862000 0.3			Forest 4835000 0.35			Residential Area 428000 0.5		
	CO <sub>D</sub>	N	P	CO <sub>D</sub>	N	P	CO <sub>D</sub>	N	P	CO <sub>D</sub>	N	P	CO <sub>D</sub>	N	P
sa[l/hr]	2.3	5.0	1.9	2.3	5.0	1.9	2.3	5.0	1.9	0.3	1.7	1.4	0.0	5.7	1.0
as[l/mm]	1.2	0.37	1.5	1.2	0.37	1.5	1.2	0.37	1.5	0.0	0.0	0.032	0.018	0.045	0.05
da[l/hr]	0.25	4.9	0.14	0.25	4.9	0.14	0.25	4.9	0.14	0.045	0.65	0	1.8	2.5	0.024
ai[l/hr]	0.7	0.5	0.02	0.7	0.5	0.02	0.7	0.5	0.02	0.11	0	0.052	0.074	0	0.02
fs[ $mg/m^2 \cdot hr$ ]	1.5	0.085	0.033	1.5	0.085	0.033	1.5	0.085	0.033	1.3	0.2	0	0	0	0
fi[ $mg/m^2 \cdot hr$ ]	4.7	3.3	0.022	4.7	3.3	0.022	4.7	3.3	0.022	0.85	9.1	0	0.02	0.48	0.0048
so[l/hr]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
do[l/hr]	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0.074	0.82	0.86	0.026	0	0.034
ao[l/hr]	0.485	0.036	0.016	0.485	0.036	0.016	0.49	0.036	0.016	0.35	0.2	0.066	0.028	0.064	0.024
vv[ $l/m^2$ ]	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	5.7	5.7	5.7	0.16	0.16	0.16
mi[ $mg/m^2 \cdot hr$ ]	8.3	1.1	0.012	8.3	1.1	0.012	8.3	1.1	0.012	0	0	0	8.3	1.1	0.012
ai[ $mg/m^2$ ]	200	600	7	200	600	7	200	600	7	120	100	3.9	220	61	1.4
w[ $mg/m^2 \cdot hr$ ]	0.28	0.066	0.011	0.28	0.066	0.011	0.28	0.066	0.011	0.28	0.066	0.011	0.28	0.066	0.011

一分離により求めた中間流出負荷量は小さすぎると考えられる。特に中間流出成分で重要な位置を占めると考えられる  $sol$  態物質において上記の傾向が顕著になることから、このことが伺える。本研究では基底・中間流出に関してはフィルター分離により簡単に処理したが、精度を高めるためにはこれらについてもモデル化を図る必要がある。

モデルの適合度については、現段階では充分とは言えない。土地利用のうちの田、畑、住宅地に対して個別にモデル係数の同定を行っていないこともその理由の一つであろう。逆に言えば、今回のような荒い係数設定においてもある程度の適合度が得られた事を評価すべきとも考えられる。

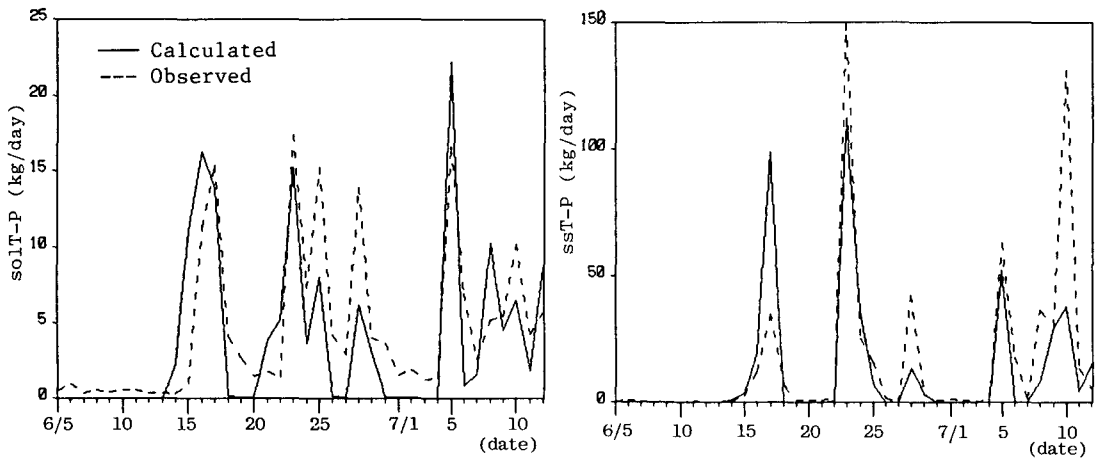


Fig.7 An Example of Pollutograph(T-P)

## 6. おわりに

連続調査とモデルによるカーブフィッティングの組合せにより、非特定汚染源からの汚濁負荷流出機構内部の物質移動量を知る見通しを得た。今回の研究結果だけでは有用な係数値を得たとは言えないが、本法により抽出した重要な機構について、モデルの運動式をより理論的整合性のとれたものとし、異なる条件下での調査データによって意味のある最適係数値を求めていくことにより、普遍性のある負荷流出モデルを構成することが可能であると考えられる。

## 〈参考文献〉

- 1) 関根雅彦, 浮田正夫, 中西弘: 連続調査による河川汚濁物質流下機構の検討; 衛生工学研究論文集, 23, 65-76(1987)
- 2) C. W. Rose, J. R. Williams, et al.: A Mathematical Model of Soil Erosion and Deposition Processes: II. Application to Data from an Arid-Zone Catchment; SOIL SCI. SOC. AM. J., VOL47(1983)
- 3) James D. Sartor, Gail B. Boyd, Franklin J. Agardy: Water pollution aspects of street surface contaminants; Journal WPCF, 46(3), 458-467(1974)
- 4) W.H. Wischmeier, D.D. Smith: Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning; USDA Agricultural Handbook No. 537, 50-58
- 5) 日野幹雄, 長谷部正彦: 地球科学的手法と逆探法を併用した流出系の成分溶出法則の推定について; 土木学会論文報告集, No 319, 87-96, 1982
- 6) 関根雅彦, 浮田正夫, 中西弘, 今井隆: 数値フィルターによる河川汚濁物質濃度の地下水成分分離; 第39回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, 57-58(1987)
- 7) 中村栄一: 合流式下水道対策の検討(II)-汚濁負荷流出シミュレーション-; 衛生工学研究論文集, 16, 154-159(1980)
- 8) 永田有利雄, 関根雅彦, 中西弘: 連続調査における河川汚濁負荷流下機構解析; 第24回土木学会年次学術講演会講演概要集, II-458(1987)
- 9) 浮田正夫, 関根雅彦, 中西弘: 河川の汚濁負荷流達率に関する研究(その5)晴天時における減少係数について; 第37回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, 79-80(1985)