

都市域中小河川における水質タンクモデルの適合性に関する研究

Pollutograph Simulation with Water Quality Tank-Model for a Small River in Urban Area

市木敦之*, 山田 淳**, 持田雅司***

By Atsushi ICHIKI*, Kiyoshi YAMADA** and Masashi MOCHIDA***

The objectives of this study are to simulate pollutant runoff from a small river basin in an urban area by using Water Quality Tank-Model, which can simulate it from a large river basin correctly, and to evaluate its accuracy for an urban river. As a result of the simulation, it was proved that Water Quality Tank-Model has a certain accuracy on solid pollutant in an urban area, but has less accuracy on soluble pollutant especially on soluble nitrogen. However, it was also proved that Water Quality Tank-Model could calculate integrated runoff pollutant load during a storm event, which was very significant especially in an urban river. In the result, it was cleared that a little more improvement made Water Quality Tank-Model more available to apply for the analysis of pollutant runoff from a small river basin in an urban area.

Keywords : Water Quality Tank-Model, pollutant runoff, pollutograph simulation,
urban river, nonpoint source

1. はじめに

流出現象は、発生源からの流達過程や河道内での流下過程の差異に加え微地形による影響も受けやすいため、流出モデルを微分方程式によって完全に表現することには困難な点が多い。また、流域の地形や河道の形状を流域全体にわたって把握することも困難であることから、水文流出モデルや汚濁物流出モデルは、多くの場合概念的かつパラメトリックな特性を持ったものにならざるを得ない。流域を巨視的に捉える水文流出モデルの一つとして、菅原¹⁾は、タンクモデル（以下「流量タンクモデル」とする）を構築し、後に海老瀬²⁾や奥川³⁾らは、流量タンクモデルによる予測流量を $L-Q$ 式に適用して汚濁物流出負荷量の予測を行っている。これに対して筆者ら^{4), 5)}は、流量タンクモデルの中に汚濁物の流出機構を付加した汚濁物流出モデル（以下「水質タンクモデル」とする）を構築し、これまでに淀川を対象とした時間スケールの長い流出解析を実施して、このモデルが大河川における汚濁物流出の再現性に優れていることを確認してきた。ここでは、さらに降雨に対する流出応答が鋭敏で、流域内汚濁ポテンシャルの変動が大きい都市域中小河川における水質タンクモデルの再現性を、流出形態の異なる汚濁物についての実測結果を基に検討した。

* 正会員 工修 立命館大学助手 理工学部環境システム工学科

** 正会員 工博 立命館大学教授 理工学部環境システム工学科

*** 学生会員 立命館大学大学院 理工学研究科土木工学専攻

(〒525-77 滋賀県草津市野路町 1916)

2. 水質タンクモデルの概要

2.1 モデルの基礎式

水質タンクモデルは、図-1 に示すように、流量タンクモデルの流出孔毎にフルイABCを設置したものである。晴天時、雨天時を問わずタンクに供給された汚濁物はフルイBC上に堆積しつつ、堆積量に応じてフルイを通過して下側のタンクに供給されるほか、降雨時には流出孔Cから流出する。フルイ上の汚濁堆積物はタンク内水位Xに応じ、浸水している△CDEの部分が流出水とともに流出するが、同一水位の場合でも汚濁物の堆積高Sが水位を下回るときには、希釈を生じて流出水質は小さくなる。

以上の関係を次式で表す。

$$X \leq S \quad L = \alpha X \cdot \frac{1}{X} \int_0^X \beta f(X) dX \dots\dots (1)$$

$$X \geq S \quad L = \alpha X \cdot \frac{1}{X} \int_0^S \beta f(X) dX \dots\dots (2)$$

$$f(X) = BX^n \dots\dots\dots (3)$$

ここに、L：汚濁物流出高 X：水位 S：汚濁物堆積高
α：流量タンク流出係数 β：水質タンク流出係数
B：汚濁物堆積高換算係数
とりわけ、αXは流量流出高、Xⁿはフルイの形状を示す。

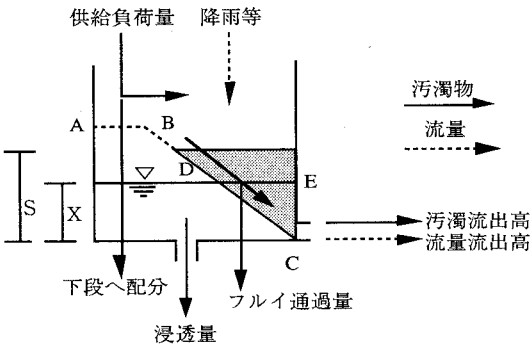


図-1 水質タンクモデルの概念図

2.2 水質タンクモデルと汚濁発生源の関連性

タンクの連結構造は直列3段とし、供給負荷量を各段に分配した。フルイ上に堆積した汚濁物は、溶解成分や微細な懸濁成分から順次下側のタンクへ浸透していくものとすると、各水質タンクは、表-1に示すような汚濁発生源に対応

表-1 タンクの連結構造と各段タンクの意味

連結構造	区分	流量タンク	水質タンク	水質構成
	上段上部	表面流出 (大降雨時)	ドライエリア (自然域) (都市域)	
	上段下部	表面流出 (小降雨時)		
	中段	中間流出	ウェットエリア	
	下段	基底流出	ポイントソース	

する。上段タンクは主としてノンポイントソースに対応し、比較的大きな降雨で流出する上段上部が自然域に、小降雨でも一定の負荷流出がある上段下部が都市域にそれぞれ相当する。降雨時に上段からの浸透分が供給される中段タンクは、ウェットエリアに対応し、常に一定量の負荷流出がある下段はポイントソースに対応する。これにより、汚濁物の各発生源における現存量の評価がある程度可能となる。

3. 流域と解析データの概要

3.1 流域の概要

検討の対象としたのは、流域特性の異なる都市域中小河川、山科川、十禅寺川および伊佐々川である。対象とした集水域の概要と特性を図-2、表-2にそれぞれ示す。山科川は京都市東部に位置しており、流域の都市化がほぼ完了している。土地利用は、上流部が山地となっており、その他の地域では住居地域を主体に工業地域や田畑が混在している。一方、十禅寺川と伊佐々川はともに琵琶湖へ東岸から流入しており、近年流域の都市化が著しい。十禅寺川は、上流部が山地、中流部で大規模な住宅団地が3ヶ所あり、伊佐々川は、上流部

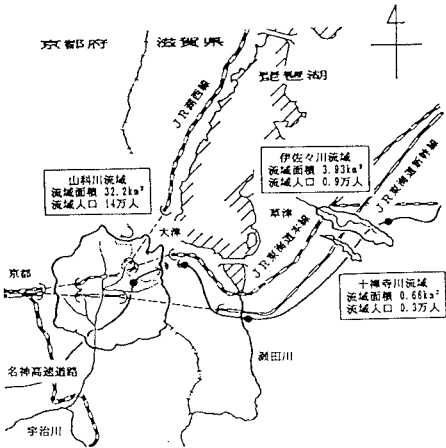


図-2 対象流域

が山地と田畑，中流部が住宅地となっており、下流で滋賀県草津市の中心部を流れている。山科川，伊佐々川両流域における下水道の排除方式は分流式である。十禅寺川流域では、下水道が未整備で一部合併浄化槽が設置されている。

表-2 対象流域の概要(1990年現在)

河川	集水面 (km ²)	土地利用 (%)				流域人口 (×千人)	下水道整備率 (%)
		市街地	田	畑	山林		
山科川	32.21	38.21	12.86	0.09	48.84	141.7	90.3
十禅寺川	0.68	50.97	6.03	4.63	38.38	2.8	0.0
伊佐々川	3.93	49.82	27.80	8.42	13.95	9.0	65.4

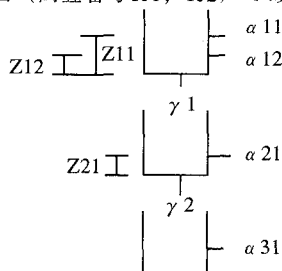
下水道整備率：市街地における面積整備率

3.2 解析データの概要

表-3 解析データの概要

解析に用いた調査データは、各河川で1992、1993年に筆者らが実施した晴天時，雨天時の連続採水試料の分析結果に降雨データを加えたものである。調査は、以下の方法で連続した複数の降雨を含む期間(1ヶ月程度)継続して行った。①採水地点に転倒マス型自記雨量計とストレーンゲージをセンサーとする自記水位計ならびに自動採水装置(ISCO-2700使用)を設置し、連続的に記録，採水を行うとともに、降雨時には流速を浮子で観測した。②降雨量は、10分間隔の降雨強度として整理し、③流量は、別途行った採水地点の横断面測量と浮子流速による実測流量Qを当該水位Hの2次式として近似したH-Q式に10分間隔で観測した水位を代入することにより算定した。④採水間隔は水位の変動に合わせて適宜10分～1時間とし、採水した試料は、直ちに実験室へ持ち帰り水質を分析した。⑤水質の分析項目は、SSおよび懸濁性(P)，溶解性(S)のCOD,T-N,T-Pである。

解析データの概要を表-3に示す。調査は、山科川で2回(調査番号Yc2, Yc3)、十禅寺川で1回(調査番号Jc2)、伊佐々川で2回(調査番号Ic1, Ic2)であった。



$\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{31}$: 流出率

γ_1, γ_2 : 浸透率

Z11, Z12, Z21: 流出孔高

図-3 流量タンクモデルパラメータ

降雨番号	調査期日	先行晴天日数 (day)*	総降雨量 (mm)	降雨継続時間 (hrs)	平均流量 (m ³ /s)	平均水質 (mg/l)			
						SS	COD	T-N	T-P
調査 Yc2	92/ 8/30-10/ 5	-	82.5 (5)**	-	2.22	27.6	4.76	5.38	0.273
降雨 Yc2-1	92/ 9/14	20	4.5	19.0	1.65	5.0	4.42	6.09	0.193
Yc2-2	92/ 9/25	31	22.0	5.8	4.04	162.5	20.08	15.07	1.254
Yc2-3	92/ 9/29	3	10.0	1.8	3.42	231.9	5.35	8.54	0.069
Yc2-4	92/ 9/29	3	33.5	9.5	5.24	178.1	22.86	9.08	1.617
Yc2-5	92/10/ 1	1	12.5	5.0	1.97	28.4	22.69	3.96	0.060
調査 Yc3	93/ 9/15-10/10	-	137.5 (6)**	-	2.97	27.4	16.13	7.07	0.901
降雨 Yc3-1	93/ 9/18	3	3.0	5.3	2.10	17.7	6.22	3.95	0.049
Yc3-2	93/ 9/22	7	17.5	10.0	3.01	28.1	7.58	7.95	0.213
Yc3-3	93/ 9/23	0	4.0	3.8	2.07	6.6	8.38	6.03	0.058
Yc3-4	93/ 9/30	7	61.5	15.2	5.99	81.8	5.77	1.97	0.304
Yc3-5	93/10/ 3	2	7.0	8.3	2.22	3.4	3.59	1.60	0.127
Yc3-6	93/10/ 7	6	44.5	24.5	3.33	52.1	5.64	0.97	0.225
調査 Jc2	92/ 5/31- 6/26	-	91.0 (4)**	-	0.06	63.3	3.94	0.87	0.107
降雨 Jc2-1	92/ 6/ 7	8	50.0	13.3	0.26	66.8	6.90	0.89	0.334
Jc2-2	92/ 6/15	7	5.5	3.7	0.03	11.5	4.50	0.76	0.132
Jc2-3	92/ 6/18	10	6.0	1.0	0.06	12.9	4.85	2.11	0.176
Jc2-4	92/ 6/23	15	28.5	19.8	0.29	232.5	3.84	1.94	0.101
調査 Ic1	92/10/23-11/26	-	48.0 (8)**	-	0.40	14.7	9.59	2.42	0.637
降雨 Ic1-1	92/10/24	9	7.5	6.0	0.51	11.4	3.79	1.20	0.157
Ic1-2	92/10/30	15	3.0	1.0	0.43	28.9	3.62	2.28	0.116
Ic1-3	92/11/ 1	16	2.0	6.0	0.44	14.8	2.99	2.12	0.069
Ic1-4	92/11/ 3	18	0.5	1.0	0.26	1.3	6.01	2.31	0.360
Ic1-5	92/11/ 6	22	7.0	11.1	0.37	18.3	3.05	1.88	0.114
Ic1-6	92/11/ 9	25	9.0	7.0	0.44	29.8	4.19	4.64	0.939
Ic1-7	92/11/10	26	0.5	1.0	0.41	7.9	6.31	3.07	0.384
Ic1-8	92/11/20	9	18.0	9.6	0.74	141.0	10.73	4.43	0.905
調査 Ic2	93/ 6/12- 6/24	-	166.5 (4)**	-	0.81	191.5	5.19	2.73	0.269
降雨 Ic2-1	93/ 6/13	4	22.5	15.0	0.80	148.6	6.96	3.70	0.562
Ic2-2	93/ 6/16	2	3.5	0.7	0.58	111.9	5.72	3.13	0.460
Ic2-3	93/ 6/18	4	64.0	33.7	1.37	295.9	9.55	5.76	0.645
Ic2-4	93/ 6/22	2	75.0	20.7	2.07	177.6	7.17	4.95	0.494
平均水質欄：上段は 懸濁性+溶解性 (T)，下段は 溶解性 (S)							24.40	7.47	2.308
* 10mm/day以上の降雨日からの日数， ** 観測降雨数							6.01	3.68	0.367
							4.19	1.49	0.101
							3.16	1.39	0.044
							4.56	1.32	0.114
							3.25	1.00	0.050
							7.38	2.92	0.191
							4.50	2.15	0.053
							5.58	1.42	0.127
							4.00	1.24	0.049
							3.29	1.16	0.053
							3.05	0.92	0.034
							5.72	1.74	0.128
							4.04	1.38	0.039
							4.98	1.53	0.173
							2.94	1.23	0.066
							3.69	1.09	0.082
							2.79	1.91	0.038
							11.72	2.35	0.403
							5.18	1.60	0.051
							12.38	2.21	0.628
							6.17	1.53	0.149
							12.60	1.98	0.550
							6.95	1.34	0.154
							10.94	2.26	0.542
							6.13	1.77	0.137
							15.79	2.60	0.847
							6.64	1.59	0.148
							10.19	1.89	0.533
							5.18	1.46	0.150

4. モデルパラメータの決定

4.1 流量タンクモデルパラメータの決定

本研究では、計算の時間ステップを30分とし、図-3に示す流量タンクモデルパラメータを、何回かの試行計算により河川毎に定めた。流量タンクモデルのパラメータおよび流域の実測値

表-4 流量タンクモデルのパラメータと適合性

河川	α_{11}	α_{12}	α_{21}	α_{31}	γ_1	γ_2	Z11	Z12	Z21	相関係数
山科川	0.085	0.100	0.050	0.0001	0.10	0.05	5	1	0	0.967
十津寺川	0.050	0.030	0.040	0.0001	0.20	0.10	5	0	0	0.954
伊佐々川	0.070	0.020	0.015	0.0001	0.25	0.15	5	1	0	0.929

と計算値の相関係数を表-4に示す。いずれの調査データについても、相関係数0.929~0.967となり、高い相関が得られた。

表-5 水質タンクモデルのパラメータ

4.2 供給負荷量の算定

水質タンクへの供給負荷量の算定は、次の手順で行った。まず、調査降雨データを基に河川毎に定めた一降雨積算流出量についてのL-Q式⁶⁾に過去3ヶ年(1991~1993年)の降水量時系列データを入力して年間流出負荷量を算定し、これを計算時間ステップ(30分)当たりの河川別供給負荷量に換算する。次いで、流域の土地利用を考慮して定めた配分率で各段タンクへ供給負荷量を振り分けてゆく。初期堆積量は、山口ら⁷⁾が示した結果を参考にして、大降雨(30mm以上)直後の流域内汚濁堆積負荷量がゼロに近似するように定めた。

4.3 水質タンクモデルパラメータの決定

水質タンクモデルパラメータは、SSおよび形態別(懸濁性:P, 溶解性:S)のCOD, T-N, T-Pについて、それぞれ以下の要領で順次カーブフィッティングを行い決定した。①下段タンク以外からの流出がない時間帯(主として晴天時)の実測データを用いた下段タンクパラメータの決定、②中段タンクからも流出がある時間帯(主として降雨後)の実測データと下段タンクからの算定流出データを用いた中段タンクパラメータの決定、③上段タンクからの流出がある時間帯(主として降雨時)の実測データと中・下段タンクからの算定流出データを用いた上段タンクパラメータの決定

各段タンクにおけるパラメータの決定では、まず、いずれも水質タンク流出係数 $\beta=1.0$ として、(I)式におけるL, Xにそれぞれ実測負荷量(汚濁物流出高)と流量タンクにより算定された水位をあてはめた後、回帰計算によりパラメータ n_{ij} , B_{ij} (上段上部: $i=1$ $j=1$, 上段下部: $i=1$ $j=2$, 中段: $i=2$ $j=1$, 下段: $i=3$ $j=1$)を一旦定めた。次に、各フルイにおける汚濁物の浸透率 δ_{ij} を含めた試行計算を行い、パラメータ n_{ij} , B_{ij} を修正した。各水質タンクモデルパラメータの一覧を表-5にまとめて示す。

5. シミュレーション結果と考察

5.1 モデルの適合性

水質タンクモデルによるシミュレーション結果の一部を図-4に示す。ただし、COD, T-N, T-Pについては懸濁性+溶解性(T)と

項目	タンク	河川名	山科川	十津寺川	伊佐々川
		調査名	Yc	Jc	Ic
SS	n	n11	0.0	0.9	7.5
		n12	0.8	1.1	0.2
		n21	0.5	0.1	3.0
		n31	0.0	0.0	0.0
	B	B11	200	1000	300
		B12	20	100	150
		B21	5	100	125
		B31	1	1	1
	浸透率	δ_{11}	0.01	0.01	0.01
		δ_{12}	0.01	0.01	0.01
		δ_{21}	0	0	0
		δ_{31}	0	0	0
COD(P)	n	n11	0.0	1.0	2.0
		n12	0.6	0.4	0.5
		n21	0.4	0.2	0.1
		n31	0.0	0.0	0.0
	B	B11	10	125	27
		B12	2	25	28
		B21	1	20	1
		B31	1	1	1
	浸透率	δ_{11}	0.01	0.01	0.01
		δ_{12}	0.01	0.01	0.01
		δ_{21}	0	0	0
		δ_{31}	0	0	0
COD(S)	n	n11	-0.2	-0.5	-0.5
		n12	-0.3	-0.1	-0.5
		n21	0.2	0.2	0.2
		n31	0.0	0.0	0.0
	B	B11	0.6	20	18
		B12	0.3	10	5
		B21	1.5	9	2.2
		B31	1	1	1
	浸透率	δ_{11}	0.01	0.01	0.01
		δ_{12}	0.01	0.01	0.005
		δ_{21}	0	0	0
		δ_{31}	0	0	0
T-N(P)	n	n11	-0.8	0.3	0.1
		n12	0.7	0.1	0.1
		n21	0.2	0.0	-0.1
		n31	0.0	0.0	0.0
	B	B11	0.6	35	12
		B12	0.8	25	1
		B21	0.9	5	1
		B31	1	1	1
	浸透率	δ_{11}	0.01	0.01	0.01
		δ_{12}	0.01	0.01	0.01
		δ_{21}	0	0	0
		δ_{31}	0	0	0
T-N(S)	n	n11	0.0	-0.8	-0.4
		n12	1.0	0.2	-0.3
		n21	0.0	0.6	0.3
		n31	0.0	0.0	0.4
	B	B11	1	20	5
		B12	0.8	5	1
		B21	0.9	5	5
		B31	1	1	1
	浸透率	δ_{11}	0.01	0.01	0.1
		δ_{12}	0.01	0.1	0.2
		δ_{21}	0	0	0
		δ_{31}	0	0	0
T-P(P)	n	n11	-0.2	0.8	0.1
		n12	0.6	1.4	0.2
		n21	0.3	0.3	0.0
		n31	0.0	0.0	0.0
	B	B11	0.7	30	4
		B12	0.1	1	1
		B21	0.1	1	1
		B31	1	1	1
	浸透率	δ_{11}	0.01	0.01	0.01
		δ_{12}	0.01	0.01	0.01
		δ_{21}	0	0	0
		δ_{31}	0	0	0
T-P(S)	n	n11	-0.5	0.0	0.0
		n12	0.1	-0.3	0.0
		n21	0.1	0.5	0.0
		n31	0.0	0.0	0.0
	B	B11	0.025	1	0.25
		B12	0.015	1	0.05
		B21	0.05	1	0.05
		B31	1	1	1
	浸透率	δ_{11}	0.01	0.01	0.01
		δ_{12}	0.1	0.01	0.01
		δ_{21}	0	0	0
		δ_{31}	0	0	0

して表している。いずれの水質項目においても、流出ピークの良い再現性が見て取れるものの、流出初期のファーストフラッシュ成分が過小に評価されており、特に流出応答の鋭敏な都市域中小河川における検討課題となった。個々の実測値と計算値の相関係数を河川毎にまとめると表-6 のようになる。いずれの水質項目も、負荷量や懸濁性水質で高い相関係数が得られたが、一方で、溶解性水質では低い相関係数に留まった。とりわけ溶解成分の流出ピークにおける希釈作用と通減特性の双方を同時に表現することが課題となっている。他の水質項目に比べてT-Nの相関係数が低いのは、いずれの流域においてもある程度の面積を有する田地からの田面水流出の影響であると考えられ、調査期間が水耕時期と重なった十禅寺川で特に低くなっている。N系肥料の流出に限らず、今後こうした流域特性の一部もモデル構造に組み込んでゆく必要がある。

都市域中小河川では、特にノンポイント負荷を含む降
雨時流出負荷量の予測精度が重要であるため、実測され
た一降雨積算比流出負荷量と水質タンクモデルによって
算定された一降雨積算比流出負荷量の関係を相関係数と
共に図-5 に示す。ここでも、既に述べたように肥料関
連の水質項目で相関が若干低くなるものの全体としては
良好な予測精度が示されている。

表-6 実測値と水質タンクモデルによる
計算値の相関係数

河川	山科川		十禅寺川		伊佐々川	
水質項目	水質	負荷量	水質	負荷量	水質	負荷量
SS	0.799	0.812	0.792	0.935	0.683	0.813
COD	0.691	0.667	0.845	0.958	0.586	0.825
	0.283	0.818	0.321	0.910	0.700	0.872
T-N	0.570	0.730	0.068	0.639	0.424	0.885
	0.068	0.444	0.014	0.696	0.105	0.881
T-P	0.539	0.843	0.809	0.931	0.712	0.886
	0.288	0.769	0.114	0.779	0.649	0.887

上段は懸濁性（P）、下段は溶解性（S）

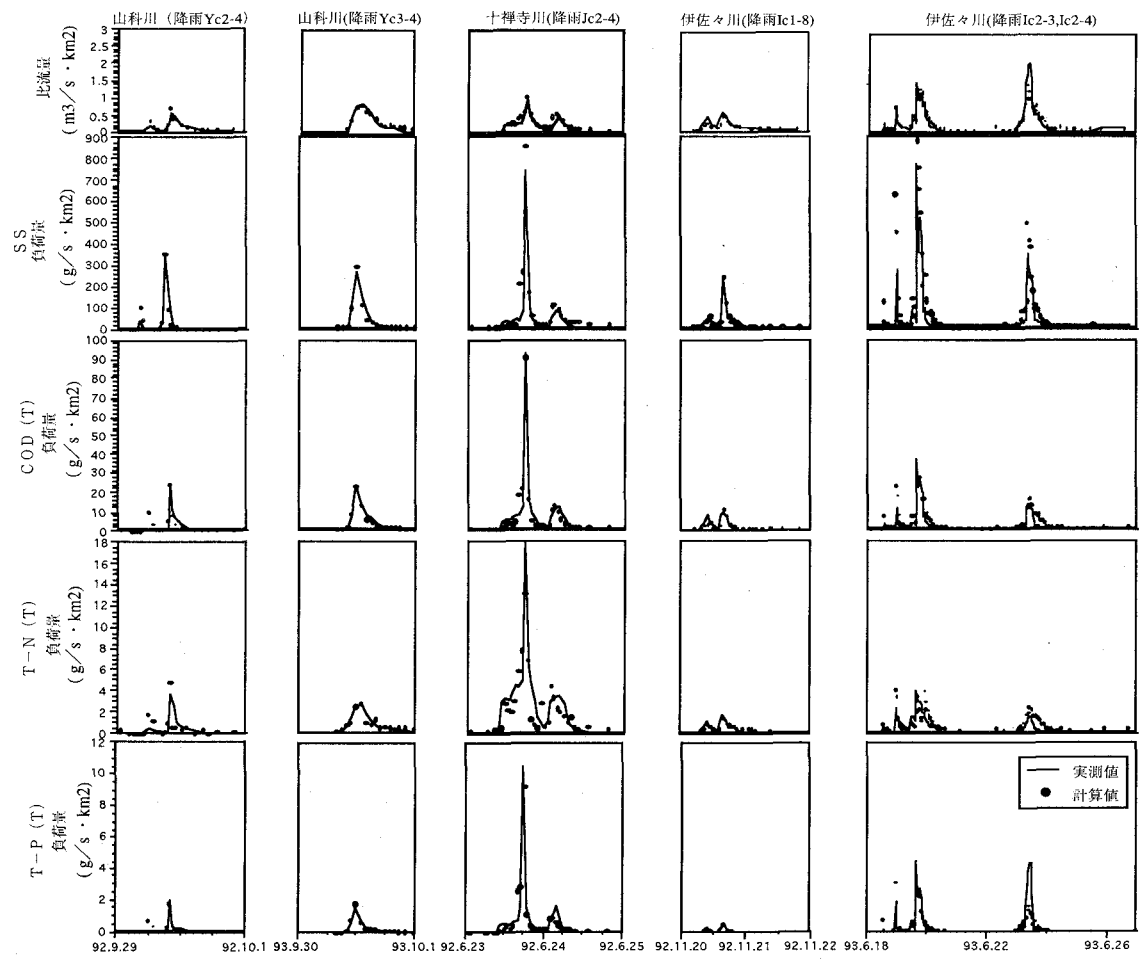


図-4 実測値と水質タンクモデルによる計算値の経時変動

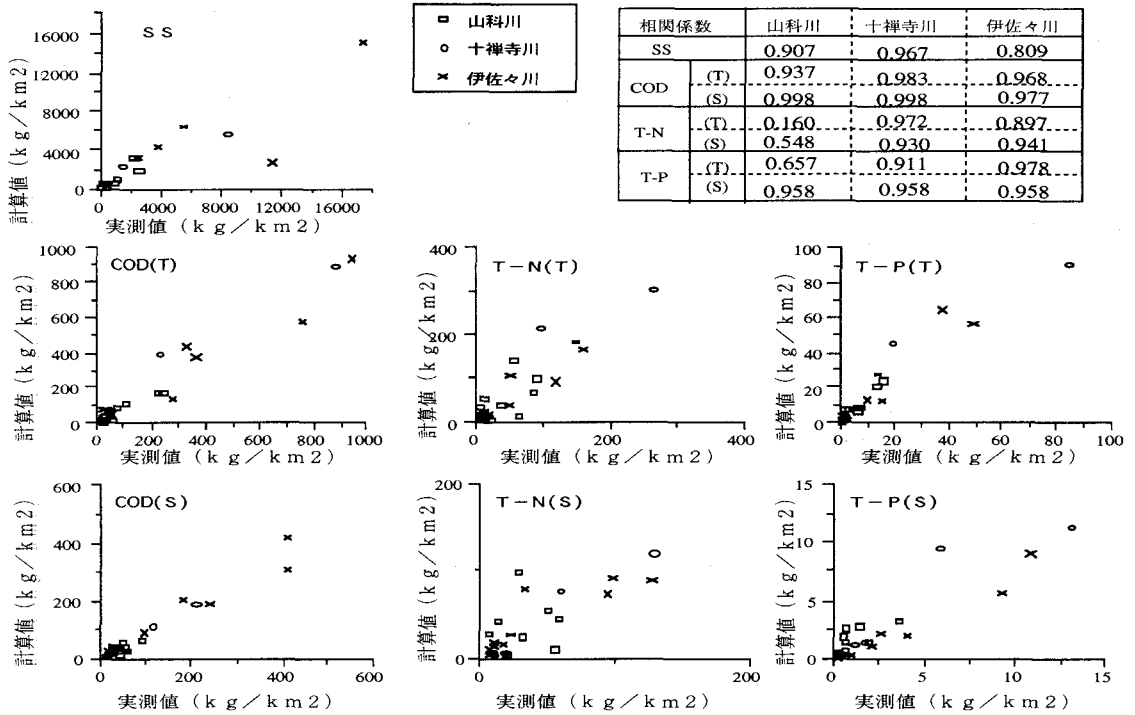


図-5 一降雨積算比流出負荷量における実測値と計算値の関係

5.2 流出孔別流出負荷量

水文学・水質学の立場から、トレーサー等を用いて汚濁物の流出過程を分離する試み^{8),9)}や流出過程の分離結果を用いた汚濁物流出源の量的な把握¹⁰⁾が行われている。水質タンクモデルを用いて、こうした汚濁物流出源の構成について検討するため、流出孔別負荷量を図-6に示した。河川に依らず、溶解成分はいずれもほとんどが中・下段タンクから流出しており、上流の自然域からウエットエリアを経由して流出してくる負荷がかなりのウェイトを占めていることが分かる。一方、懸濁成分については、流出負荷量のほとんどが上段タンクから流出しており、かなりの負荷量が非特定汚濁源から流出してきていることがうかがえる。十禅寺川では、特に都市域ノンポイント負荷を示す上段下部からの流出負荷量が大きく、流域特性が流出に及ぼす影響が現れている。

5.3 タンク内部の状態変化

水質タンクモデルでは、流域内の汚濁ポテンシャルをタンク内の汚濁物堆積高として表現している。図-7には、調査Ic2における各段のタンク内水位とCOD堆積高を示している。降雨時流出に応じて各

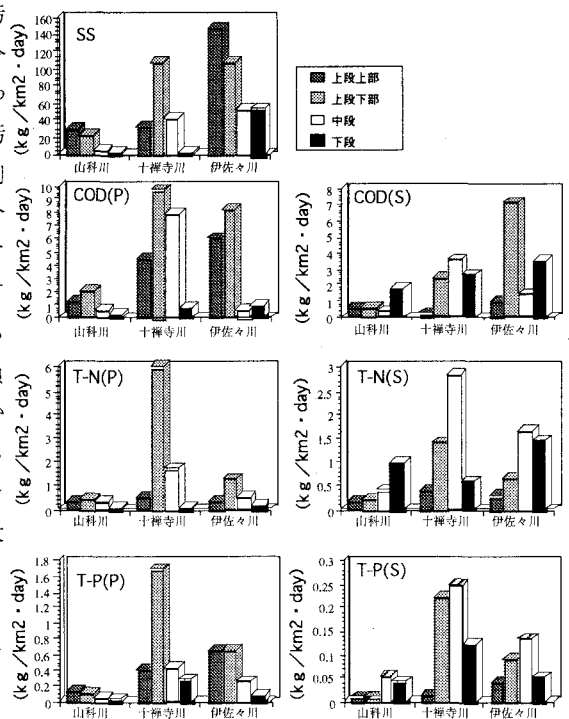
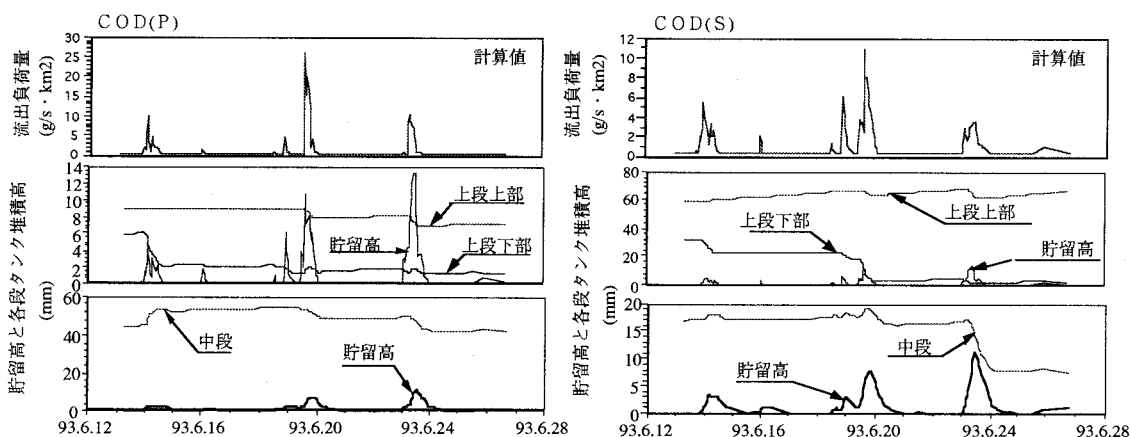


図-6 流出孔別流出負荷量の構成

段タンクの堆積高が変動しており、都市域中小河川に顕著な流量と負荷量のループ特性など有限供給型の流出を的確に表現し得ることが示されている。



図ー7 タンク内部の状態変化 (調査 Ic2)

6. まとめ

本研究では、都市域中小河川における水質タンクモデルの効用と問題点について明らかにした。さらに汚濁物のタンク内での形態変化や流域特性のモデル構造への組み込みなどについて検討を加え、汚濁物の流出管理に適用し得るものに発展させたいと考えている。

なお、本研究の一部は、平成4、5年度滋賀県琵琶湖研究所委託研究「都市域の非特定汚濁負荷削減に関する研究」として実施されたものである。また、解析データを得るにあたり環境計画研究室の大学院生、卒業研究生の協力があつたをことを記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 菅原正巳：流出解析法，水文学講座7，共立出版，1972年
- 2) 海老瀬潜一・宗宮功・平野良雄：タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析，用水と排水，Vol.21，No.12，pp.46～56，1979年12月。
- 3) 奥川光治・宗宮功：数理モデルによる富栄養化のシミュレーション解析，土木学会論文報告集，No.337，pp.119～128，1983年9月。
- 4) Yamada, K. and Hasegawa, Y. : Pollutograph simulation with WATER QUALITY TANK-MODEL, Proceedings of 5th international conference on urban storm drainage, Vol. I, pp.391～396, 1990. 7.
- 5) Hasegawa, Y., Yamada, K. and Ichiki, A. : Pollutograph simulation with WATER QUALITY TANK-MODEL(II), Proceedings of 6th international conference on urban storm drainage, Vol. I, pp.796～801, 1993.9.
- 6) Ichiki, A., Yamada, K. and Nakade, Y : Study on quantification and management of runoff pollutants from nonpoint sources in urban area, Proceedings of 6th international conference on urban storm drainage, Vol. I, pp.537～542, 1993.9.
- 7) 山口高志・吉川勝秀・奥石洋：河川の水質・負荷量に関する水文学的研究，土木学会論文報告集，第293号，pp.49～63，1980年1月。
- 8) 海老瀬潜一・村岡浩爾・佐藤達也：降雨流出解析における水質水文学的アプローチ，第28回水理講演会論文集，pp.547～552，1984年2月。
- 9) 竹内邦良・坂本康・本郷善彦： NO_3^- を用いた流出成分分離と他の方法による分離結果の比較，第28回水理講演会論文集，pp.557～565，1984年2月。
- 10) H. Behrendt : Separation of Point and Diffuse Loads of Pollutants Using Monitoring Data of Rivers, Water Science and Technology, Vol.28, No.3～5, pp.165～175, September, 1993.