

# 水質シミュレーションモデルに関する研究 (第4報)

— 府中湖 (4) —

## Studies on Simulation Model of Water Qualities (IV)

—In case of Fuchu Lake (IV) —

山本 務  
Tsutomu YAMAMOTO

浮田 和也  
Kazuya UKITA

中野 智  
Satoru NAKANO

前報に引き続き、府中湖に流出する汚濁負荷量及び濃度を推定した。流出水量の推定には前報で用いたタンクモデルに改良を加え、負荷量の推定にはL-Q曲線の代わりに汚濁負荷流出タンクモデルを用いた。この2つのモデルを用いて流出負荷量及び濃度を推定した。今回採用したモデルはその性質上、北条池からの負荷は推定できないので、本報は綾川流域からの負荷を推定することとした。結果は3年間の平均で負荷量はCOD585kg/日、T-N191kg/日、T-P10.4kg/日、濃度はCOD4.4mg/l、T-N1.40mg/l、T-P0.064mg/lと計算され、これらの値のうち、COD濃度以外は前報に比べ若干低い結果であった。

### はじめに

前報<sup>1)</sup>ではL-Q曲線による手法を用いて府中湖(ダム湖)に流出する汚濁負荷量を推定したが、今回は汚濁負荷流出タンクモデル<sup>2)~4)</sup>による手法を採用した。前者は流入負荷量の実測値を基にして推定するのに対し、後者は汚濁発生原単位を基に推定する手法で、両者の推定手法は根本的に異なる。

府中湖へ流出する負荷は同湖本来の河川である綾川他に、北条池からの流入もある。この汚濁負荷流出タンクモデルはモデルの性質上、北条池のような湖沼には適用できないので、同湖へ流入する河川等のうち綾川流域から流入する負荷に関してのみ推定を行った。以下、その結果について報告する。

### 解析方法

#### 1. 解析対象流域

府中湖流域のうち、綾川流域とする。なお、綾川の上流には長柄ダムがあり、このダムからの放流水は綾川へ流入しているため、以下、用語の定義として、綾川流域とは長柄ダム流域も含めた流域を意味し、逆に長柄ダム流域を含まない場合は、綾川本流域とする。府中湖流域、土地利用形態等については図1、表1に示す。

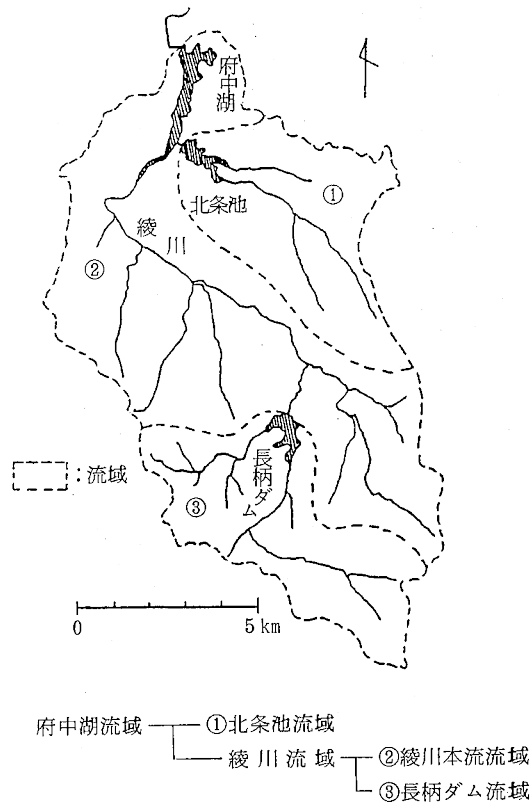


図1 府中湖流域図

## 2. 解析期間

前報同様、昭和60年4月～63年3月までの3年間

## 3. 解析項目

COD, T-N, T-Pの3項目

## 4. 解析方法

綾川本流流域からの流出負荷量の推定には汚濁負荷流出タンクモデルを用いる。このモデルはタンクの中に各発生源からの負荷量（原単位\*基数により算出する）を一旦貯えておいてから、降雨に応じて流出（掃流）させる方法である。このため、各タンク内に溜っている水量及びタンクから流出・浸透する水量の把握が必要となってくるので、これらの水量の推定にはタンクモデルを用いた。次に、長柄ダム流域からの流出負荷量については、シミュレーションによる方法は用いず、同ダム管理事務所の放流水量の観測データと、昭和62年度に当センターが現地調査した時のCOD等の濃度から算出することとした。従って、綾川流域からの流出負荷量は綾川本流流域からの推定負荷量と長柄ダム流域からの実測負荷量の合計量で表される（図5参照）。

### 4-1. 流入水量推定方法

流入水量の推定方法は図2に示すとおりである。まず、タンクモデルにより北条池流域と綾川本流流域からの水量を推定し、これに長柄ダム流域からの水量（同ダム管理事務所の資料）を加え、府中湖に流入する全水量を推定する。全流入水量を推定した理由は、①前報<sup>1)</sup>のシミュレーション結果と比較するためと、②綾川流域のみからの流入実測値がないためタンクモデルのパラメータを検証することができないからである。実際に必要とする水量は綾川本流流域の水量であるので、これについては流域面積比で配分すれば求まる。また、長柄ダム流域をタンクモデルの対象外とした理由は、同ダムからの放流水が人為的に操作されているためタンクモデルの理論を適用できないからである。

タンクモデルの形状は前報同様3段直列モデルとしたが、土地利用区分については5区分を4区分とした。これは畑と転作の占める面積が全体に比べて小さいため一つにまとめてもモデルの精度に影響を与えないと考えたからである。

以上、タンクモデルの基本的な考え方は前報と同様であり、計算に必要な降水量（滝宮アメダス資料）、計算ステップ（12時間）等についても同様である。

### 4-2. 汚濁負荷量推定方法

負荷量の推定には汚濁負荷流出タンクモデルと、それに用いる負荷原単位が必要である。

#### 4-2-1. 負荷原単位

流域で発生した負荷（COD, T-N, T-Pとする）

表1 府中湖流域に関する諸元 (単位: km<sup>2</sup>)

区分	流域	綾川流域			計(府中湖流域)
		①北条池流域	②綾川本流流域	③長柄ダム流域	
土地利用区分	水田	5.5	13.7	1.5	20.7
	畑・転作	2.0	5.4	0.6	8.0
	山林	6.5	33.0	26.3	65.8
	市街地	6.1	16.4	4.3	26.8
計(集水面積)		20.1	68.5	32.7	121.3
流域人口(人)		6,200	14,613	687	21,500

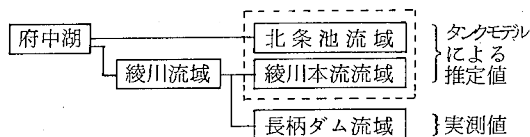


図2 流入水量推定モデル図

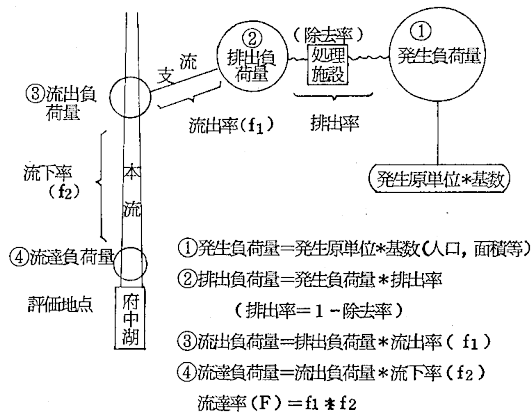


図3 汚濁物質の流達過程図

は評価地点（府中湖）へ流達（流入）するまでに様々な過程を経る。本モデルで用いる流達率、同負荷量等の用語は図3に示すとおりとする<sup>5)</sup>。

汚濁発生源は大分類として、産業系、生活系、畜産系そして土地系の4つに分類され、それらはさらに中・小分類へと細かく分類される。各発生源のうち、特定事業場（最大排水量が50t/日以上）については、通常原単位法によらず個々の実測データにより負荷量を算出するのが一般的であるので<sup>6)</sup>、この例に従い62年度調査（6事業場\*4回/年）の実測値を用いた。次に、発生源負荷の季節変化については、本来ならば与えるべきと考えるが、原単位の精度、プログラミング上の制約等を考慮すると必ずしも必要でないと思われたが、水田の施肥については季節変化が大きい<sup>7)</sup>、本モデルに与える影響も少なからざるものがあることから施肥量に季節変化を与えた。原単位に関する文献は非常に多いし、それら個々

表2 汚濁発生源分類及び原単位

No.	大分類	中分類	小分類	原単位			単位	排出率			綾川本流域の基数及び排出負荷量			文献		
				COD	TN	TP		COD	TN	TP	基数	COD	TN		TP	
1	産業系	特定事業場 (50t/日以上)	個々の工場・事業場	62年度調査結果を使用			kg/日	1	1	1	6	23.34	12.28	2.14	—	
2		特定事業場 (50t/日未満)	畜産食料品製造業	374.0	66.5	12.30	g/t	1	1	1	13.6	5.09	0.90	0.17	6), 8)	
3			水産食料品製造業	410.0	77.9	9.40	〃	1	1	1	0	0	0	0		
4			みそ・醤油等製造業	1100.0	16.6	3.30	〃	1	1	1	1.1	1.21	0.02	0		
5			パン・菓子・製あん業	689.0	10.2	1.06	〃	1	1	1	7.8	5.37	0.08	0.01		
6			めん類製造業	500.0	50.0	30.70	〃	1	1	1	22.0	11.00	1.10	0.68		
7			豆腐製造業	540.0	36.9	4.45	〃	1	1	1	12.3	6.64	0.45	0.05		
8			生コンクリート製造業	54.0	25.6	1.84	〃	0	0	0	4.0	0	0	0		
9			窯業原料精製業	15.0	2.1	0.42	〃	1	1	1	8.0	0.12	0.02	0		
10			砂利採取業	12.0	2.0	0.30	〃	0	0	0	0	0	0	0		
11			金属製品製造業	20.0	10.0	4.36	〃	1	1	1	0	0	0	0		
12			電気メッキ施設	20.0	5.0	0.85	〃	1	1	1	25.5	0.51	0.13	0.02		
13			旅館業	70.0	40.0	3.28	〃	1	1	1	8.7	0.61	0.35	0.03		
14			洗たく業	120.0	40.0	3.23	〃	1	1	1	6.7	0.80	0.27	0.02		
15			自動式車輛洗浄施設	83.0	10.6	5.12	〃	1	1	1	20.0	1.66	0.21	0.10		
16			試験研究施設	34.9	14.6	2.40	〃	1	1	1	18.1	0.63	0.26	0.04		
17			未規制事業場	飲食・喫茶店	13.2	2.1	0.62	g/人/日	1	1	1	221	2.92	0.46		0.14
18		食品処理業		13.2	2.1	0.62	〃	1	1	1	33	0.44	0.07	0.02		
19		魚介類販売仕出し業		13.2	2.1	0.62	〃	1	1	1	39	0.51	0.08	0.02		
20		理容業		24.0	3.7	1.13	〃	1	1	1	50	1.21	0.19	0.06		
21		美容業		24.0	3.7	1.13	〃	1	1	1	30	0.73	0.11	0.03		
22		病院		84.0	13.1	3.90	g/床/日	1	1	1	241	20.24	3.16	0.94		
23		給食センター	0.8	0.1	0.04	g/食/日	1	1	1	1,457	1.17	0.17	0.06			
24	生活系	合併浄化槽 (500人以下)	—	29.3	12.0	1.2	g/人/日	0.40	0.60	0.70	323	3.79	2.33	0.27	3)	
25		単独浄化槽	し尿	10.1	9.0	0.8	g/人/日	0.60	0.85	0.85	2,959	17.93	22.64	2.01		
26		(500人以下)	雑排水	19.2	3.0	0.4	〃	1	1	1	2,959	56.81	8.88	1.18		
27		自家処理	し尿	10.1	9.0	0.8	g/人/日	0	0	0	4,365	0	0	0		9)~14)
28			雑排水	19.2	3.0	0.4	〃	1	1	1	4,365	83.81	13.10	1.75		
29		くみ取り	し尿	10.1	9.0	0.8	g/人/日	0	0	0	6,392	0	0	0		
30	雑排水		19.2	3.0	0.4	〃	1	1	1	6,392	122.73	19.18	2.56			
31	畜産系	牛	—	530	180	25	g/頭/日	0.04	0.25	0.03	2,114	44.82	95.13	1.59	6)	
32		豚	—	130	32	13	g/頭/日	0.04	0.25	0.03	6,575	34.19	52.60	2.56	9)~11)	
33	土地系	水田	大気降下物	7.33	0.97	0.05	kg/km <sup>2</sup> /日	1	1	1	13.79	101.08	13.38	0.69	3), 10)	
34			肥	64.80	7.42	3.24	t/km <sup>2</sup> /年	0.03	0.20	0.03	13.79	26.81	20.46	1.34		
35		畑・転作	大気降下物・肥料	8.03	7.60	0.06	kg/km <sup>2</sup> /日	1	1	1	5.33	42.80	40.51	0.32		12), 13)
36		山林	大気降下物・落葉	6.70	0.97	0.05	kg/km <sup>2</sup> /日	1	1	1	32.98	220.97	31.99	1.65		15)~17)
37		市街地	大気降下物・その他	8.03	3.07	0.06	kg/km <sup>2</sup> /日	1	1	1	16.42	131.85	50.41	0.99		

注1) 基数の単位について、No.1:事業場数、No.2~16:排水量(t/日)、No.17~21:従業員数(人)、No.22:ベッド数(床)

No.23:弁当数(食)、No.24~30:使用人数(人)、No.31~32:頭数(頭)、No.33~37:面積(km<sup>2</sup>)

注2) 排出負荷量の単位はNo.34の水田・肥料以外はすべてkg/日である。水田・肥料の単位はt/年である。

注3) 基数は60年度の資料<sup>10)</sup>による。

表3 水田の施肥割合

肥料	月	4	5	6	7	8	9	計(年間)
施肥割合		0	0.2	0.5	0.1	0.15	0.05	1.0

の値もかなりの差がある。本モデルで参考にした文献は浮田ら<sup>3)</sup>の他多数あるが<sup>8)~17)</sup>最終的にどの値を用いるかは実測負荷量との整合性のなかで検討・修正すべきである。

府中湖流域で用いる汚濁発生源毎の原単位、及び今回のモデルで用いる綾川本流流域に関する基数、排出負荷量等についてはまとめて表2に示す。また、水田の月別施肥割合については表3に示すとおりである。

#### 4-2-2. 汚濁負荷流出タンクモデル

図4に本モデルの概念図を示す。モデルの基本的な考え方は次のとおりである。まず、排出負荷の形態を点源由来と面源由来の2つの分け、前者は事業場からの排水、家庭からの雑排水のように液状となっており降雨に関係なく常に流出（これを晴天時流出負荷）し、後者は肥料のように固体状となっており降雨の時に掃流（これを降雨時流出負荷）されるとする。表2で分類した発生源を表1の土地利用区別別に点源由来と面源由来に分けると表4のとおりとなる。なお、水田施肥のうち5%は点源由来とし<sup>3)</sup>、家畜からの糞尿は畑・転作へ農地還元されたとした。家畜からの糞と尿中に含まれる汚濁負荷の割合は表5に示すとおりとした。

表4 排出負荷形態による分類

区分	分類	点源由来負荷	面源由来負荷
水田		肥料流出(5%)	肥料流出(95%) 自然性負荷(大気降下物)
畑・転作		家畜汚水(尿)	家畜汚物(糞) 自然性負荷(大気降下物・肥料)
山林		—	自然性負荷(大気降下物・落葉)
市街地		家庭し尿(浄化槽含む) 家庭雑排水 特定事業場 未規制事業場	自然性負荷(大気降下物・その他)

表5 家畜排泄物中の糞尿の負荷割合

排泄物	負荷名	COD	TN	TP
尿(点源)		0.3	0.3	0.1
糞(面源)		0.7	0.7	0.9

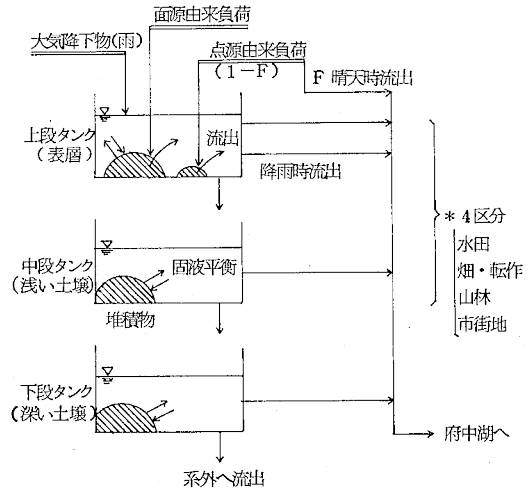


図4 汚濁負荷流出タンクモデルの概念図

今、流達率をFとすると、晴天時流出負荷（点源由来）はFの割合で常時流出する。一方、降雨時流出負荷は、タンク内へ面源及び点源（1-F）からの負荷を一旦貯えておき、それらをタンクモデルにより計算したタンクからの流出水量に応じて流出させる。タンクからの流出水量がない時は負荷物はタンク内に堆積される。次に、タンク内堆積物量とタンク内水質濃度とは固液平衡状態が成り立っていると、タンク内堆積物は自己分解等により減少するものとする。また、タンク下部からは浸透水量に応じて中段のタンクへ負荷物（溶解性）を流出させる。中段下段のタンク内でも上段タンクと同様な過程を経て流出する。

このモデルは自然界が繰り返す過程を比較的忠実に再現したモデルで、より現実的なモデルである。このため流域から発生する個々の負荷が変化（例えば、土地利用形態の変化（水田を畑にする）、事業場・工場の誘致（排出負荷の増加）、浄化槽の普及等々）した場合の流達負荷量を推定することができ、河川はもちろん湖沼等の閉鎖性水域の水質保全に役立つモデルである。ただ、本モデルはタンクモデル以上にパラメータが多く、モデルの検証にはかなりの時間と労力を要するのが欠点である。

以下、モデルの基礎式を次に示す。

連続式の解を求める方法は前報同様差分法<sup>1)</sup>による。

基礎式

A 連続式

1. 上段タンク内変化

- ①  $dSSA/dt = QRN - CA * YAT - KA1 * SSA + KA2 * SSAR - LA0 / SA$  : 上段溶解性蓄積変化量
- ②  $dSSAP/dt = ((1 - F) * LP) / SA - KDP * SSAP - FLSP$  : 上段点源由来堆積負荷変化量
- ③  $dSSAR/dt = (KL * LNP) / SA - KDR * SSAR + KA1 * SSA - KA2 * SSAR - FLSR$  : 上段面源由来堆積負荷変化量

2. 中段タンク内変化

- ④  $dSSB/dt = (LA0 - LB - LB0) / SA - KB * (SSB - RR * (SCB + SCO / SCO * SCB * HBMX))$  : 中段溶解性蓄積変化量
- ⑤  $dSCB/dt = KB * (SSB / HBMX - RR * (SCB + SCO / SCO * SCB) - KDB * SCB + (1 - KL) * LNP / HBMX / SA)$  : 中段土壌内蓄積変化量

3. 下段タンク内変化

- ⑥  $dSSC/dt = (LB0 - LC - LC0) / SA - KC * (SSC - RR * (SCC + SCO) / SCO * SCC * HCMX)$  : 下段溶解性蓄積変化量
- ⑦  $dSCC/dt = KC * (SSC / HCMX - RR * (SCC + SCO) / SCO * SCC) - KDC * SCC$  : 下段土壌内蓄積変化量

注) ②式中のFLSP, ③式中のFLSRはタンク内の状況により次のとおり条件分岐する。

- ⑧ if  $KWP * SSAP * YAT < SSAP$  then  $FLSP = KWP * SSAP * YAT$  else  $FLSP = SSAP$
- ⑨ if  $KWR * SSAR * (YAT)^{KW} < SSAR$  then  $FLSR = KWR * SSAR * (YAT)^{KW}$  else  $FLSR = SSAR$

B 運動式

4. 晴天時点源流出負荷量

⑩  $LP0 = LP * F$

5. 上段タンクからの流出・浸透負荷量

- ⑪  $LA = CA * YAT * SA + (FLSP + FLSR) * SA$  : 上段流出負荷量
- ⑫  $LA0 = CA * YA0T * SA$  : 上段溶解性浸透負荷量

6. 中段タンクからの流出・浸透負荷量

- ⑬  $LB = CB * YBT * SA$  : 中段溶解性流出負荷量
- ⑭  $LB0 = CB * YB0T * SA$  : 中段溶解性浸透負荷量

7. 下段タンクからの流出・浸透負荷量

- ⑮  $LC = CC * YCT * SA$  : 下段溶解性流出負荷量
- ⑯  $LC0 = CC * YC0T * SA$  : 下段溶解性浸透負荷量

C 流達負荷量及び同濃度計算式

- ⑰  $LL = LP0 + LA + LB + LC$  : 流達負荷量
- ⑱  $C = LL / QC$  : 流達濃度

記号の説明

記号	単位	名称	記号	単位	名称	記号	単位	名称 (パラメータ)
SSA	kg/m <sup>2</sup>	上段溶解性蓄積量	HBMX	mm	中段タンク最大水位	F*	—	流達率
SSAP	〃	上段点源由来堆積負荷量	HCMX	〃	下段タンク最大水位	KA1	1/日	吸着速度係数
SSAR	〃	上段面源由来堆積負荷量	LP	kg/日	点源排出負荷量	KA2	〃	脱着・可溶化速度係数
SSB	〃	中段溶解性蓄積量	LP0	〃	点源流達負荷量	KDP	〃	点源減衰係数
SCB	kg/m <sup>2</sup>	中段土壌内蓄積量	LNP	〃	面源排出負荷量	KDR	〃	面源減衰係数
SSC	kg/m <sup>2</sup>	下段溶解性蓄積量	LA	〃	上段流出負荷量	KB	〃	中段吸脱着速度係数
SCC	kg/m <sup>2</sup>	下段土壌内蓄積量	LA0	〃	上段浸透負荷量	KC	〃	下段吸脱着速度係数
QRN	kg/km <sup>2</sup> /日	大気降下物量	LB	〃	中段流出負荷量	KDB	〃	中段減衰係数
CA	kg/m <sup>3</sup>	上段タンク内濃度	LB0	〃	中段浸透負荷量	KDC	〃	下段減衰係数
CB	〃	中段タンク内濃度	LC	〃	下段流出負荷量	KL	—	農地排出率
CC	〃	下段タンク内濃度	LC0	〃	下段浸透負荷量	RR	〃	吸着平衡係数
YAT	mm/日	上段流出高	FLSP	kg/m <sup>2</sup> /日	点源系掃流量	SCO	kg/m <sup>2</sup>	吸着飽和係数
YBT	〃	中段流出高	FLSR	〃	面源系掃流量	KWP	1/mm	点源掃流係数
YCT	〃	下段流出高	SA	km <sup>2</sup>	流域面積	KWR	1/mm <sup>2</sup>	面源掃流係数
YA0T	〃	上段浸透高	LL	kg/日	流達負荷量	KW	—	掃流係数
YB0T	〃	中段浸透高	QC	m <sup>3</sup> /日	流入水量	K1	1/km	流出減少係数
YC0T	〃	下段浸透高	C	mg/l	流達濃度	K2	〃	流下減少係数

注) 流達率は  $F = f1 * f2$  で表される。  
 $f1 = \exp(-K1 * \sqrt{S})$  : S = 流域面積 (km<sup>2</sup>)  
 $f2 = \exp(-K2 * L)$  : L = 流下距離 (km)

### 4-3. 流入汚濁負荷量の推定

流入負荷量の推定手順は図5に示すとおりである。

綾川本流流域については、流量予測（タンクモデル）と排出負荷量予測（原単位法）を別々に行い、これらのデータを汚濁負荷流出タンクモデルに適用して流達負荷量を予測する。タンクモデルで予測する流域は綾川本流流域と北条池流域の合計量であるので、綾川本流流域の水量は両流域の集水面積比（0.77：0.23）で配分した値を用いる。長柄ダム流域については前述したとおり実測値を基に算出したが、流達距離10kmを考慮し、流達率及び流達タイムラグの係数を採用した。両流域からの負荷量を合計して流達負荷量及び同濃度を求めた。

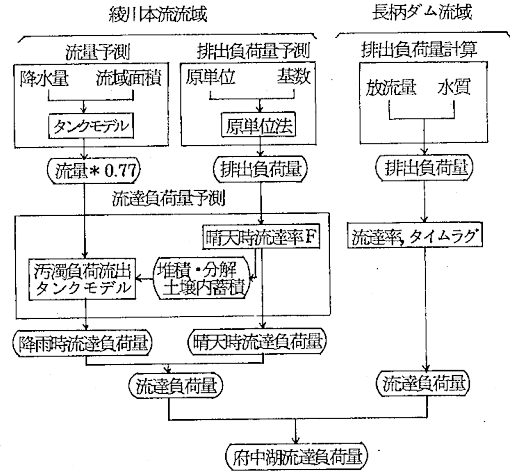


図5 流入負荷量推定フローシート

### 5. 計算方法等

計算に用いたパソコン、言語は前報と同じである。プログラム、ファイルについては次のとおりである。

- ①：タンクモデル（プログラム）
- ②：降水量データファイル
- ③：原単位算出プログラム（市販のマルチプラン使用）
- ④：汚濁負荷流出タンクモデル（プログラム）
- ⑤：その他（長柄ダム関係のプログラム、ファイル等）

①と②を用い④で必要とするデータファイル（各タンクからの流出高，同浸透高，同貯留高の3つのファイルで，データ量はそれぞれ3段\*4区分\*1096日分）をFDに取り出す。③については原単位と基数を入力し，④で必要なデータを計算する。このデータは④のプログラムの中へDATA文で入力しておく。④のプログラムサイズは約17Kバイトである。このプログラムを用いて流達負荷を計算させる時に留意した点は，タンク内負荷量の初期値の影響を取り除くため，3年間（1096日）分の計算を2回繰り返したことで，差分化による計算誤差を小さくするため計算ステップを3時間としたことである。このため，計算に要した時間は8時間20分であった。

## 結果及び考察

### 1. 流入水量の推定結果

計算に用いたタンクモデルのパラメーターについては表6に示す。前報と比べNo. 3の蒸発率，No. 4の河川有効流出率の値を大きくした。No. 9については今回新に追加したパラメーターで，タンクモデルの計算結果には直接関与しないが，実測流入量との整合性を検討するうえで重要である。FMIについては，流達過程で0.9が流達し残りの0.1は蒸発等により系外へ放出されると考え，FMBは，流達までにタイムラグがあるとし，FMBを，

表6 タンクモデルパラメーター一覧

No.	名称	記号	単位	値			
				水田	畑・転作	山林	市街地
1	土地利用面積	S	km <sup>2</sup>	19.3	7.3	39.5	22.5
2	降雨有効降下率	FR	—	0.88	0.88	0.88	0.88
3	上段蒸発率	FVU	—	1	1	1	1
	中段	FVM	〃	1	1	1	1
	下段	FVL	〃	0	0	0	0
4	上段河川有効流出率	FFU	—	1	1	1	1
	中段	FFM	〃	1	1	1	1
	下段	FFL	〃	1	1	1	1
5	上段洪水用流出孔高さ	H1	mm	55	45	55	30
	上段流出孔高さ	H2	〃	30	20	25	15
	中段	H3	〃	10	10	10	10
	下段	H4	〃	6	6	6	6
6	上段洪水用流出係数	a1	1/日	0.6	0.5	0.4	0.8
	上段流出係数	a2	〃	0.3	0.3	0.2	0.4
	中段	a3	〃	0.04	0.04	0.04	0.04
	下段	a4	〃	0.004	0.004	0.004	0.004
7	上段浸透係数	b1	1/日	0.15	0.20	0.25	0.10
	中段	b2	〃	0.045	0.045	0.045	0.045
	下段	b3	〃	0.006	0.006	0.006	0.006
8	上段初期貯留高	Ha	mm	0	0	0	0
	中段	Hb	〃	25	25	25	25
	下段	Hc	〃	100	100	100	100
9	長柄ダム流域流達率	FMI	—	0.9			
	〃 タイムラグ	FMB	時間	24			

注) 名称，記号の説明については前報を参照。

0, 6, 12, 24の各時間についてそれぞれ計算を行い、24時間の時が実測値と一番良い整合性を示したのでFMBを24時間とした。

実測値との適合状況については、前報の結果と対比させ、表7に相関係数、回帰式の比較表を、表8に流入水量等に関する計算結果一覧表を示す。また、図6には府中湖流域に関する水収支（3年間の平均）の結果を、図7～9はそれぞれ長柄ダム流域からの流達水量、府中湖流入水量結果、及び地下浸透水量結果をグラフ化したものである。

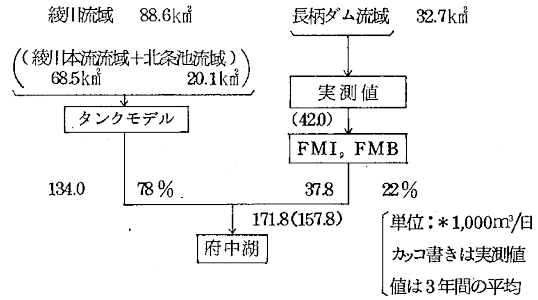


図6 府中湖流域の水収支計算結果

表7 府中湖流入水量の比較結果

年度	n	項目	本報結果	前報結果
60	365	相関係数	0.932	0.929
		回帰式	$y = 0.91x + 24$	$y = 0.88x + 16$
61	365	相関係数	0.923	0.887
		回帰式	$y = 0.90x + 8$	$y = 0.90x + 9$
62	366	相関係数	0.970	0.945
		回帰式	$y = 1.18x - 89$	$y = 1.27x - 107$

注) x : 計算値 (\*1000m³/日)

y : 実測値 ( " )

表7, 表8より、本報結果は相関係数等前報に比べかなり改善されたと考える。特に本県における水収支の試算結果<sup>19)</sup>(河川流出量50%, 蒸発量32%, 地下浸透量18%)を引用すると、本報では3年間の平均でそれぞれ50.6% (前報51.3%), 32.0% (同24.5%), 17.4% (同24.2%)と計算され、よい一致を示した。これは蒸発率等のパラメータ値を再度検討すると共に、長柄ダム流域からの水量(図6より寄与率は22%)をシミュレーションの対象外とし実測値を有効に用いたことにある。

表8 府中湖流入水量等計算結果一覧

年度	n	水量等	単位	最高値	平均値	最小値	標準偏差	全降水量に対する流出割合(%)	蒸発割合(%)
60	365	流入水量(実測値)	*1000m³/日	2,302.5	158.8	29.3	219.7	50.9	
		流入水量(計算値)	"	1,935.3	149.5	30.1	226.2	47.9	
			(2,135.9)	(162.4)	(36.9)	(232.3)	(52.0)	蒸発割合(%)	
		地下浸透水量(計算値)	"	79.0	56.8	37.0	10.0	18.2	33.9
			"	(121.1)	(89.8)	(51.7)	(20.1)	(28.8)	(19.2)
61	365	流入水量(実測値)	*1000m³/日	1,480.0	125.3	22.4	131.2	44.9	
		流入水量(計算値)	"	1,285.8	130.1	36.0	134.7	46.7	
			(1,344.9)	(129.1)	(44.3)	(129.0)	(46.3)	蒸発割合(%)	
		地下浸透水量(計算値)	"	67.7	51.6	39.5	7.7	18.5	34.8
			"	(90.8)	(68.6)	(54.1)	(10.2)	(24.6)	(29.1)
62	366	流入水量(実測値)	*1000m³/日	12,593.6	189.0	14.6	736.5	43.9	
		流入水量(計算値)	"	10,015.8	235.9	42.1	605.1	54.8	
			(8,940.6)	(232.4)	(51.7)	(546.4)	(54.0)	蒸発割合(%)	
		地下浸透水量(計算値)	"	90.4	68.9	48.6	13.7	16.0	29.2
			"	(117.5)	(88.7)	(61.5)	(17.6)	(20.6)	(25.4)
3年間	1096	流入水量(実測値)	*1000m³/日	12,593.6	157.8	14.6	450.3	46.4	
		流入水量(計算値)	"	10,015.8	171.8	30.1	383.2	50.6	
			(8,940.6)	(174.6)	(36.9)	(352.9)	(51.3)	蒸発割合(%)	
		地下浸透水量(計算値)	"	90.4	59.1	37.0	12.9	17.4	32.0
			"	(121.1)	(82.3)	(51.7)	(19.2)	(24.2)	(24.5)

注) カッコ書きは、前報の結果である。

図7と図8を比較すると、両者のパターンはおおむね一致しているといえるが、細かく見れば62年6月～9月頃はかなり異なっている。このことは長柄ダムからの放流水が人為的に操作されていることを表しているといえる。図9はタンクモデルで推定した地下浸透水量の結果である。渇水期（1～3月頃）の値が3か年とも約5万t/日と一定していることから、本モデルの各パラメータ値は整合性（モデルの安定性）のあるものと考えられ、この点も前報結果を改善したと考える。

## 2. 流入汚濁負荷量及び濃度の推定結果

今回流入負荷量を推定する流域は綾川本流域（汚濁負荷流出タンクモデル）と長柄ダム流域（実測値から算出）を合わせた綾川流域であり、北条池流域は推定の対象外としているので、以下府中湖流入負荷とは特にことわらない限り北条池流域を除いたことを意味する。

長柄ダム放流水の水質調査結果については表9に、同ダムからの流達負荷量については一例としてCOD量について図10に示す。府中湖流入負荷量の計算結果につい

ては表10、図11に、同濃度については表11、図12にそれぞれ示す。また、本負荷モデルで用いたパラメータについては表12に示しておく。パラメータの値については主に浮田ら<sup>31,32)</sup>が用いた値を基にしたが検証のなかで多少修正したものもある。

表9 長柄ダム放流水濃度（62年度調査）

項目	単位：mg/l				
	COD	TN	TP	Chl-a	DO
長柄ダム放流水	4.7	1.70	0.066	0.005	9.8

注) 年4回調査の平均値である。

長柄ダム放流水の月別の濃度の算出については年4回（季別調査）の値を比例配分により求めた。これらの値に放流量及び流達率（0.9）をかけ合わせて流達負荷量を算出した（図10）。水質濃度の値はいずれも季節変化が小さかったためグラフのパターンは図7の水量のものとはほぼ一致した。同ダムからの流達負荷量は3年間の平均で、COD148kg/日、T-N52kg/日、T-P1.5kg/日と求まった。

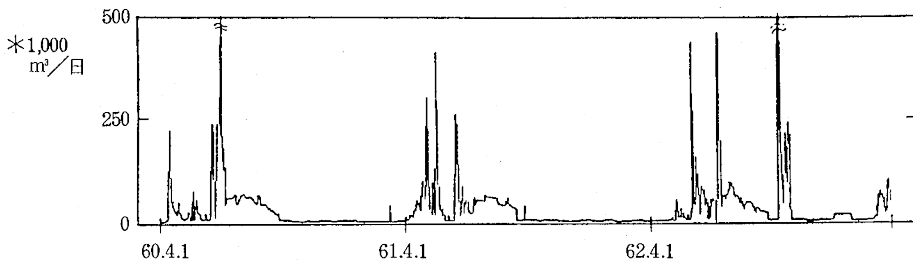


図7 長柄ダム流域からの流達水量（実測値から算出）

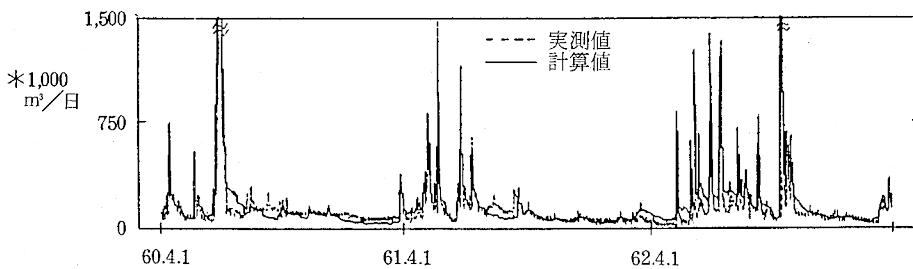


図8 府中湖流入水量

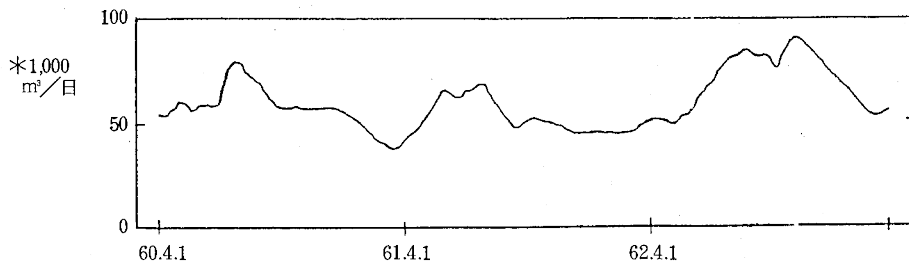


図9 地下浸透水量（計算値）



表10 府中湖流入負荷量推定結果

単位：kg/日

項目	区別\年度	60	61	62	3年間
COD	実測値	—	—	385	—
	計算値	542(642)	520(471)	691(1,026)	585(713)
T-N	実測値	—	—	134	—
	計算値	174(201)	167(159)	231(289)	191(216)
T-P	実測値	—	—	7.1	—
	計算値	9.6(11.6)	9.1(8.2)	12.4(19.7)	10.4(13.2)

注) カッコ書きは前報の結果である。

表11 府中湖流入負荷濃度推定結果

単位：mg/l

項目	区別\年度	60	61	62	3年間
COD	実測値	4.2	6.4	3.6	4.7
	計算値	4.8(4.1)	4.8(4.0)	3.7(4.3)	4.4(4.1)
T-N	実測値	—	4.68	1.47	—
	計算値	1.49(1.46)	1.49(1.46)	1.22(1.47)	1.40(1.47)
T-P	実測値	0.172	0.297	0.067	0.179
	計算値	0.068(0.068)	0.070(0.066)	0.054(0.073)	0.064(0.069)

注) カッコ書きは前報の結果である。

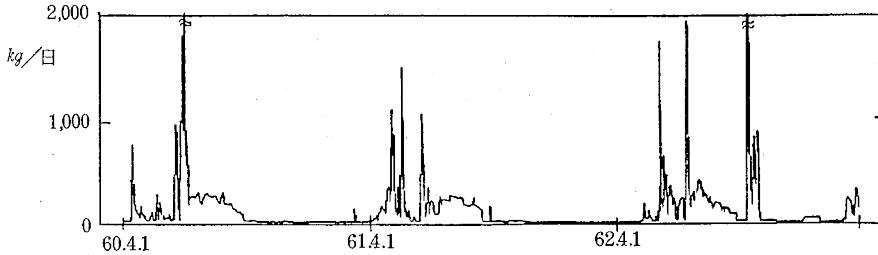
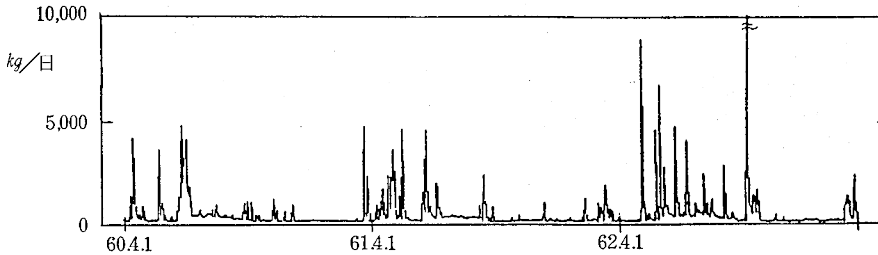
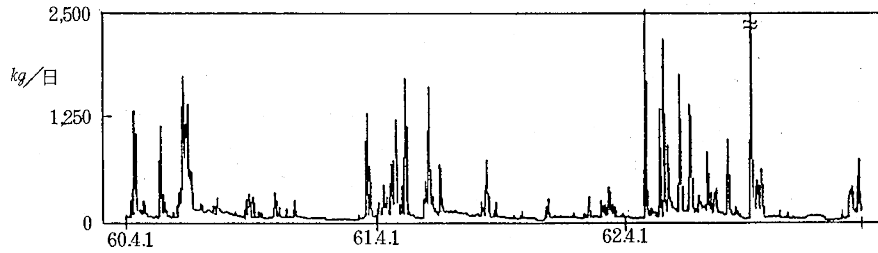


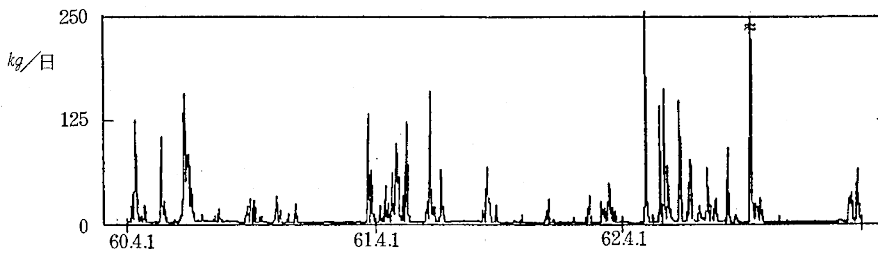
図10 長柄ダム流域からのCOD流達負荷量（実測値から算出）



1. COD負荷量



2. T-N負荷量



3. T-P負荷量

図11 府中湖流入負荷量推定結果（綾川流域）

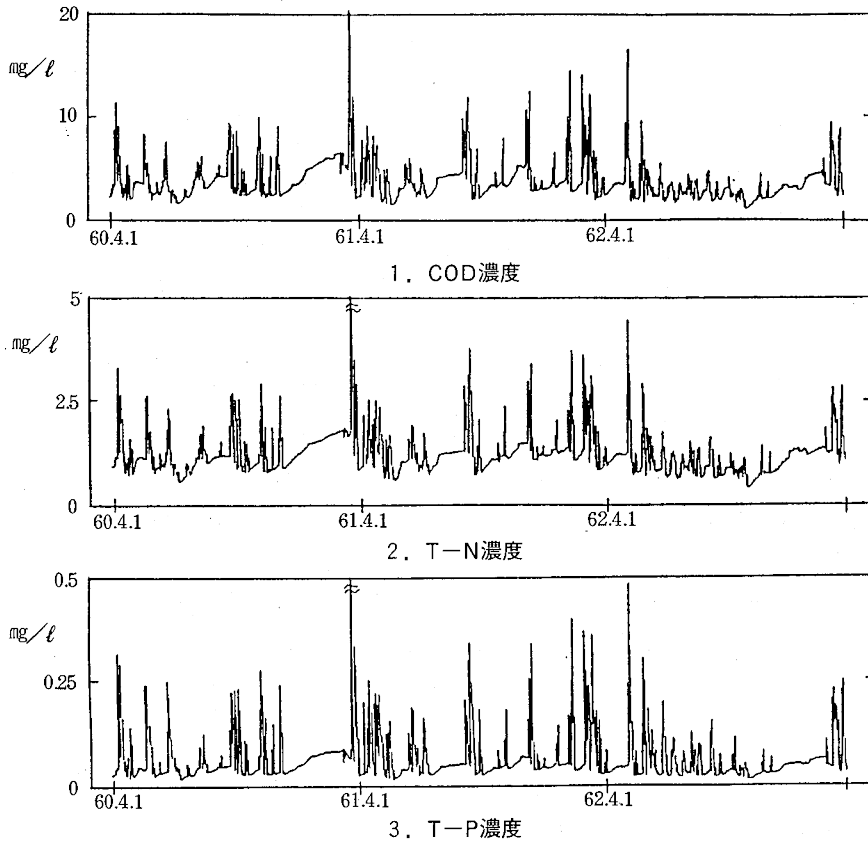


図12 府中湖流入負荷濃度推定結果（綾川流域）

表12 汚濁負荷流出タンクモデルパラメーター一覧

No.	記号*	単位	項目	土地 利用			
				水 田	畑・転作	山 林	市街地
1	L	km	区	3	5	10	2
2	S	km <sup>2</sup>	別	13.7	5.4	33.0	16.4
3	HBMX	mm	な	200	200	200	200
4	HCMX	〃	し	400	400	400	400
5	K 1	1/km	COD	0.30	0.30	0.30	0.15
			TN	0.30	0.30	0.30	0.20
			TP	0.40	0.40	0.40	0.40
6	K 2	1/km	COD	0.10	0.10	0.10	0.10
			TN	0.15	0.15	0.15	0.15
			TP	0.10	0.10	0.10	0.20
7	KWP	1/mm	COD	0.15	0.015	0.015	0.015
			TN	0.15	0.015	0.015	0.015
			TP	0.10	0.010	0.010	0.010
8	KWR	1/mm <sup>2</sup>	COD	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004
			TN	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004
			TP	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004
9	KL**	—	COD	1	1	1	1
			TN	0.2	0.2	1	1
			TP	0.2	0.2	1	1

No.	記号	単位	項 目		
			COD	TN	TP
10	KA 1	1/日	0.2	0.2	0.2
11	KA 2	〃	0.2	0.2	0.2
12	KDP	〃	0.002	0.005	0.005
13	KDR	〃	0.002	0.005	0.005
14	KB	〃	3	5	2
15	KC	〃	3	5	2
16	KDB	〃	0.010	0.010	0.008
17	KDC	〃	0.010	0.010	0.008
18	RR	—	0.0025	0.0250	0.0020
19	SCO	kg/m <sup>2</sup>	10.0	1.5	0.6
20	KW	—	2	2	2

注1) 記号の名称は基礎式の「記号の説明」欄を参照。

注2) KL(農地排出率)は上段タンクへ排出される割合を表し、中段タンクへは(1-KL)が排出されるとする。

## ま と め

次に、府中湖へ流入する負荷量は、表10によれば前報で求めた値よりもいずれも低い結果であった。これは原単位、パラメータの選択にもよるが、最大の要因は負荷モデルの考え方の違いによるものであろう。前報のL-Q曲線法では流域の堆積負荷量を考慮しないが、本負荷モデルは有限と考え、降雨が続くと掃流効果によりタンク内堆積物が流出し減少するとしているためである。このことは図11及び図12のグラフ（長雨が続いた62年5月～10月）を見れば明かである。

流入濃度については、T-N、T-Pは前報と比べ若干低くなったがCODは逆に高くなった（表11）。濃度については実測値と計算値とを比較することは容易であるが、月1回の調査結果の中にはかなりのバラツキがみられ、特に表11の61年度結果のように流入水濃度を代表していると言い難いデータもあり、シミュレートした値を正しく評価するのは困難な面もある。

本負荷モデルで推定した流入負荷量は、3年間の平均でCOD585kg/日、T-N191kg/日、T-P10.4kg/日と求まり、同濃度についてはそれぞれ4.4mg/l、1.40mg/l、0.064mg/lであった。濃度については過去の調査資料等<sup>20), 21)</sup>を参考にすると若干低い値であると考えられるので、水量及び負荷量も含めて検討することが必要であろう。

図13は府中湖流域で発生する負荷量を表したグラフである。年平均値でCOD1,652kg/日、T-N668kg/日、T-P36.5kg/日の負荷が発生していることになる。しかし、これらのうち長柄ダム流域、北条池流域で発生した負荷は一旦、同ダム及び池に流入し、そこで沈殿、溶出、内部生産あるいは養殖の給餌等の過程を繰り返しながら綾川を経て、あるいは直接府中湖へ流入することになるので府中湖へ流入する負荷量を推定、さらに将来に向けての水質保全対策を行うためには、長柄ダム、北条池についても今回のようなシミュレーションモデルを用いることが必要であろう。

60～62年度の3年間について、タンクモデルと汚濁負荷流出タンクモデルにより綾川流域から府中湖へ流入する負荷量及び同濃度を推定した。結果をまとめると次のとおりである。

1. 水量の推定には前報のタンクモデルを改良したものをを用いた。主な改良点は、①長柄ダムからの水量については実測値を用い、②蒸発率等のパラメータ値を大きくしたことである。この結果、整合性はさらに向上し、モデル自体も安定性の良いものになった。

2. 負荷量の推定には前報のL-Q曲線法の代わりに汚濁負荷流出タンクモデルを用いた。本法は流域での堆積負荷量は有限であるとの考えをタンクモデルに応用したものである。流入負荷量は3年間の平均でCOD585kg/日、T-N191kg/日、T-P10.4kg/日と推定され、この値はL-Q曲線法よりも低い値となり、本モデルの特性を表現できたと考えている。

3. 計算時間についてはかなり長時間（汚濁負荷流出タンクモデルでは8時間20分）を要するので、今後プログラム言語の変更についても検討する必要がある。

終りに、本調査研究にあたり、終始御指導いただいた山口大学工学部助教授、浮田正夫先生に深く感謝いたします。

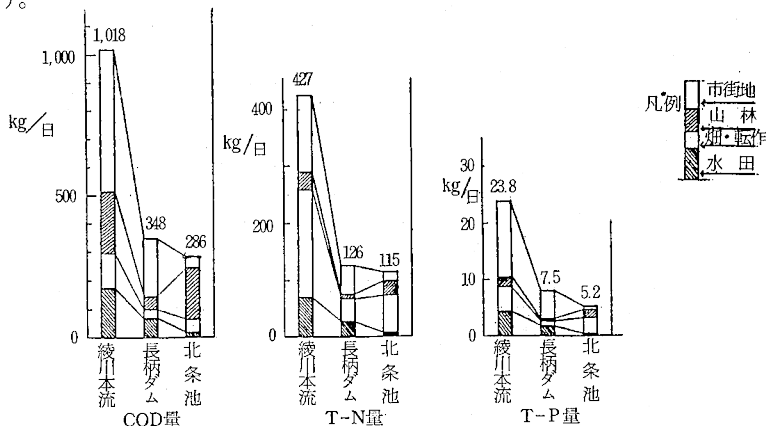


図13 各流域の発生負荷量

## 文 献

- 1) 山本務, 藤田淳二, 冠野禎男, 他: 香川県公害研究センター所報, 12, 37 (1987)
- 2) 関根雅彦, 浮田正夫, 山本修司, 他: 衛生工学研究論文集, 22, 103 (1986)
- 3) 中西弘, 浮田正夫, 関根雅彦: 昭和62年度厚東川水系水質保全対策協議会調査研究成果報告書, 山口大学工学部 (1987)
- 4) 国松孝男: 河川汚濁のモデル解析, 技報堂 (1989)
- 5) 市川新: 水質汚濁研究, 11, 12, 734 (1988)
- 6) 香川県公害課: 河川水質汚濁解析調査総合報告書 (昭和61年3月) (1986)
- 7) 国松孝男, 武田育郎: 水質汚濁研究, 11, 12, 743 (1988)
- 8) 環境庁水質保全局: 環境庁委託業務結果報告書 栄養塩類削減対策調査 (昭和57年3月) (1982)
- 9) 千葉県: 桑納川負荷解析報告書, 11 (1977)
- 10) 日本水質汚濁研究協会: 湖沼環境調査指針, 公害対策技術同友会 (1982)
- 11) 環境庁水質保全局: 環境庁委託業務結果報告書 栄養塩類削減対策調査 (昭和58年3月) (1983)
- 12) 環境庁水質保全局: 環境庁委託業務結果報告書 窒素・燐指導指針策定調査 (昭和58年3月) (1983)
- 13) 環境庁水質保全局: 非特定汚染源による汚染防止対策調査報告書—文献調査— (昭和60年1月) (1985)
- 14) 建設省四国地方建設局: 四国技術, 19, 76, 20 (1988)
- 15) 建設省四国地方建設局: 昭和57年度自然負荷量調査報告書 (1988)
- 16) 環境庁水質保全局: 非特定汚染源による汚染防止対策調査検討会報告書 (昭和62年3月) (1987)
- 17) 和田安彦: 水質汚濁研究, 11, 12, 739 (1988)
- 18) 香川県: 香川県統計年鑑 (昭和61年刊行) (1986)
- 19) 香川県: 香川県長期水需給計画 (1986)
- 20) 藤井裕士, 多田薫, 大森利春, 他: 香川県公害研究センター所報, 9, 89 (1984)
- 21) 香川県水道局: 水質試験年報, 13 (1987)