

立命館大学理工学部 正員 ○西本 安範

山田 淳

1. はじめに 湖沼・内湾等の閉鎖性水域の水質保全のために、流入する河川の年間流出負荷量の実態把握とモデル化に関する研究が必要とされてきた。このため、流出モデルや観測日数と精度に関する研究もおこなわれているが、対象流域にはそれぞれ固有の特性があることから、モデルに組みこまれる説明変数も異なるものになり、これらの成果を一般化するにはいたっていない。こうした背景より本報告では、行政機関より得た日データ資料を流送能力タイプのモデルに適用し、有意性の高い説明変数とモデルの適合性をみるために重回帰分析をおこなう。分析結果より対象河川における実用的なモデルの提案と適用上の問題点を述べる。

2. 観測地と解析資料 対象とした地味は、淀川本川・枚方大橋で、同地味より大阪湾にいたるまで大きな流入支川がないことから、大阪湾に流入する汚濁負荷量の算出地味として、従来より水質・水文資料の蓄積の高い地味でもある。解析資料は、表-1に示すように、1980年、1981年のCOD、BOD、SS、 Cl^- の年間データで、解析にあたっては、水質値、流量(水位)、降雨量についても資料を吟味したうえで利用した。ただ、降雨に関するデータは、枚方地味のものを用いたため、流域の代表性の点では適正さを欠く面もあると考えている。

3. 負荷流出モデルと計算法 負荷流出モデルに関しては、従来より各方面で研究がなされてきたが、ここでは、取り扱いが比較的簡便な物理・統計モデルのひとつである流送能力タイプのモデルを用いた。この流送能力モデルは、堆積負荷量を考慮していないために、最も簡単な $Q_s = A Q^B$ (Q_s : 流出負荷量, Q : 流量, A , B : 係数)では、降雨時でのループ特性を再現しえないなどの欠点があるため、モデルとしては、表-2に示すように、降雨日のループ特性、流域の大きさ、季節特性を考慮するものとして、前日、前々日の流量、前々日、前々々日の降雨量、水温も含めて、流出現象に關与すると判断される7つの説明変数からなるものを考えた。また、モデルとしては、適合性の面だけでなく、実用上は説明変数のできるだけ少ないものが望まれることから、計算法としてはSPSS(統計パッケージ)のREGRESSION(重回帰分析・前進選択法)を用いて、F値の大きい説明変数をひとつずつ追加選択させた。

4. 選択されたモデルとその適合性 表-4にSPSSで求められたステップ毎の説明変数とその説明変数より構成されるモデルに対して、表-3に示す適合性指標より求めた値を合わせて示した。適合性の指標は、一般的には実測値と計算値との重相関係数(RL, RR)で表現されることが多いようであるが、ここでは、年間の総流出負荷量や、実測値と計算値との相対的な一致を示すPT, FA, FBなどの指標値も求めた。表-4より特徴点を要約してみると、① 全ての水質項目について、ステップ1で選択された説明変数は、当日の流量 Q_0 で、このモデルでは、兩年を通じて、CODは $PT = 0.95 \sim 0.96$, $RR = 0.83 \sim 0.89$ の値で適合性は比較的高いと評価されるが、BOD, SSは、 $BOD: PT = 0.89 \sim 0.90$, $RR = 0.52 \sim 0.63$, $SS: PT = 0.79 \sim 0.90$, $RR = 0.73 \sim 0.78$ の値に示されるように、降雨日での計算値が実測値より小さく算

表-1 解析資料

河川地味	淀川・枚方大橋(観測時間: am 9:30~10:30)
解析期間	1980年1月1日~12月31日(データ数 $N=366$) ただし Cl^- : 5月1日~12月31日($N=245$) 1981年1月1日~12月31日($N=349$)
水質項目等	COD, BOD, SS, Cl^- (データI+データII)*, 水温
流量	観測水位(H)を同様の流量時刻毎のHでチェックした後、時刻毎のH~Qより算出
降雨量	枚方地味 時間雨量月表(自記紙より求めた観測値)
降雨強度	降雨強度 先行晴天日数は雨量月表より算出
先行晴天日数	(当日の雨量: 当日の am 9:00~翌日の am 9:00の雨量)
*データI: 左岸・中岸・右岸に採水した試料の混合水の水質値	
*データII: 左岸・中岸・右岸に採水した試料の3水質値の平均値	
データIとデータIIの水質値(COD, BOD, Cl^-)に特性差がみられたため、無降雨日で一定濃度下のデータIとデータIIに平均値を求め、両平均値の差データ数の少ないデータIIで修正した。また、1日~2日の欠測値は、前後日の測定値の平均値として追加した。	

表-2 負荷流出モデルと計算法

モデル:	$Q_s = A Q_0^B Q_1^C Q_2^D W_1^E W_2^F W_3^G T^H I^J M^K$
ここに:	Q_s : 流出負荷量 (kg/sec) Q : 流量 (m ³ /sec), Q_0 : 当日, Q_1 : 前日, Q_2 : 前々日 W : 降雨量 (mm/日), W_1 : 前日, W_2 : 前々日, W_3 : 前々々日 T : 水温 (°C), I : 降雨強度 (mm/時) M : 先行晴天日数 (日) $A, B, C, D, E, F, G, H, J, K$: 係数
計算法:	HITAC M-240H, SPSS(統計パッケージ) REGRESSION(重回帰分析・前進選択法, $F=0.01$) 無降雨日の W_1, W_2, W_3, I, M は 0.001 とし計算

出されているため、適合性はCODに比べてかなり劣る結果となっている。CEはPT=0.99, RR=0.96~0.97の値で実測値と計算値との対応が極めて高く説明変数はQ₀だけでよいことになる。② ステップ2で選択された説明変数は、COD, BODでは前日の流量Q₁, SSでは前日の雨量W₁で、ステップ1のモデルに比べて適合性がかかなり高くなっていることがわかる。

③ ステップ3以降に選択される説明変数は解析期間によって異なるものになってゆく。適合性は一般的に、説明変数の増加にともなう改善幅を減じながら高くなってゆくと言えるが、ステップ5と最終のステップ9との差はほとんどみられなくなる。このことより、実用的なモデルを両年にステップ5までに共通して選択された説明変数で構成すると、COD=f(Q₀, Q₁, Q₂, W₃), BOD=f(Q₀, Q₁, T), SS=f(Q₀, Q₂, W₁, T)となる。CODはPT=0.97, RR=0.92~0.94と適合性が高いことより、このモデルでよいと判断されるが、BOD, SSは、BOD:PT=0.93, RR=0.70, SS:PT=0.88~0.92, RR=0.85~0.89の値であり、年間流出負荷量の算出にあつては、BODでは7%, SSでは10%程度の割増しを

表-3 適合性指標

$$PT = \frac{\sum X_i}{\sum Y_i} \quad (X_i: \text{計算流出負荷量}, Y_i: \text{実測流出負荷量})$$

$$FA = \frac{\sqrt{\sum (X_i - Y_i)^2 / N}}{\sum Y_i / N}, \quad FB = \frac{\sum |X_i - Y_i|}{\sum Y_i} \quad (N: \text{データ数})$$

$$RR = \frac{\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i / N}{\sqrt{\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2 / N} \sqrt{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / N}} \quad (RL: \log_e X_i \text{ と } \log_e Y_i \text{ との相関係数})$$

する必要がある。また適合性の向上のためには、降雨日と無降雨日とを区分して試算することと他のモデルでの検討も必要と考えられる。④ 降雨強度Iと先行晴天日数Mは、BODではステップ5までに選択されているが、他の項目では選択順位が低く、降雨地帯での評価が残るが、当河川での寄与は少ないといえる。⑤ ①~④に述べたことから、流送能力モデルでの有効な説明変数は、流量、降雨量、水温に要約される。この点では、他の研究者の報告とも類似性があるが、当河川では、Q₁, Q₂, W₂, W₃なども水質項目に応じて有効となる変に特徴がみられる。

5. まとめ 本報告では、日データ資料を用いてSPSSにて選択された説明変数をもつ流送能力タイプのモデルの適合性について検討を加えた。その結果、CE=f(Q₀), COD=f(Q₀, Q₁, Q₂, W₃)が実用上有効であることと、BOD, SSについては年間流出負荷量の算出にあつては割増をすること、適合性の向上では、降雨日と無降雨日を分けて試算することと他のモデルでの検討の必要性を指摘した。

本報告は、昭和58年、59年度に国分政道(知立市役所) 篠澤誠(中部地建)、野弘道(津川市役所)君らとおこなった卒業研究の1部をまとめたものである。

表-4 選択された説明変数とXのモデルの適合性指標の値

項目	年	ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PT	FA	FB	RR	RL
COD	1980	1	Q ₀									0.760	0.396	0.192	0.890	0.924
		2	Q ₀	Q ₁								0.972	0.285	0.157	0.941	0.950
		3	Q ₀	Q ₁	W ₁							0.972	0.280	0.146	0.949	0.955
		4	Q ₀	Q ₁	W ₁	Q ₂						0.974	0.277	0.142	0.949	0.957
		5	Q ₀	Q ₁	W ₁	Q ₂	W ₃					0.975	0.276	0.142	0.949	0.958
	1981	1	Q ₀	Q ₁	W ₁	Q ₂	W ₃					0.975	0.275	0.141	0.950	0.958
		2	Q ₀	Q ₁								0.950	0.510	0.200	0.834	0.897
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂							0.971	0.351	0.156	0.917	0.934
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T						0.974	0.344	0.151	0.919	0.934
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃					0.977	0.342	0.149	0.919	0.943
BOD	1980	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃					0.978	0.334	0.146	0.923	0.945
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁				0.976	0.325	0.143	0.928	0.946
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	M			0.904	0.724	0.328	0.521	0.706
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I			0.927	0.613	0.292	0.673	0.784
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.930	0.610	0.287	0.685	0.800
	1981	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.933	0.602	0.275	0.706	0.818
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.934	0.601	0.274	0.707	0.820
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.935	0.600	0.268	0.707	0.824
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.894	0.862	0.327	0.628	0.774
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.939	0.814	0.292	0.683	0.850
SS	1980	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.935	0.747	0.283	0.725	0.857
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.933	0.739	0.278	0.732	0.864
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.934	0.744	0.278	0.728	0.867
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.940	0.760	0.272	0.719	0.872
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.897	1.034	0.431	0.783	0.898
	1981	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.902	0.884	0.342	0.853	0.932
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.923	0.776	0.301	0.868	0.938
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.935	0.794	0.307	0.884	0.940
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.929	0.773	0.296	0.889	0.942
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.932	0.717	0.291	0.985	0.944
CE	1980	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.770	1.666	0.473	0.730	0.848
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.816	1.504	0.417	0.802	0.884
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.829	1.502	0.410	0.798	0.901
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.878	1.204	0.346	0.850	0.912
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.892	1.159	0.337	0.856	0.914
	1981	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.895	1.177	0.338	0.851	0.916
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.993	0.126	0.069	0.971	0.982
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.993	0.126	0.068	0.971	0.983
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.993	0.125	0.068	0.972	0.983
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.994	0.125	0.068	0.972	0.983
RR	1980	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.994	0.114	0.072	0.962	0.962
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.107	0.066	0.966	0.970
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.103	0.063	0.969	0.972
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.102	0.063	0.969	0.973
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.102	0.063	0.969	0.973
	1981	1	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.102	0.063	0.969	0.973
		2	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.102	0.063	0.969	0.973
		3	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.102	0.063	0.969	0.973
		4	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.102	0.063	0.969	0.973
		5	Q ₀	Q ₁	Q ₂	T	W ₃	W ₁	I	Q ₃		0.996	0.102	0.063	0.969	0.973

※ 1981年のCEはステップ8のF値が0.01以下となりステップ7までで終了した。

参考文献 1) 山口・吉川: 土木研究所報告, 第154号, 1980.3, 2) 奥川ら: 第18回衛生工学研究論文集, 1982.1
 3) 羽田・松本: 土木学会論文報告集, 第340号, 1983.12, 4) 河原ら: 水道協会誌, 第53巻, 第2号, 1984.2
 5) 渡部・小森: 第21回衛生工学研究論文集, 1985.1