

群馬高等 正員 山本好克

1. はじめに

工砂が生産され、流出あるいは流送されることによる河床上昇、ダム貯水池内への堆砂等の諸問題は、周知のとおりであり、これら有害過剰な土砂をいかに処理するか、工学的にも社会的にも重要なことである。

この有害過剰な土砂を適切に処理するためには、工砂処理計画基準点における土砂流出量の適確な把握が必要としようが、土砂流出量に影響を及ぼすであろう要因は多岐かつ確定であるがゆえに、いかに困難な様相である。

こゝでは、土砂流出量を把握するための一方法として、流域諸特性値により推定する手法について、重回帰分析、変数選択手法および主成分分析法¹⁾を用いることにより検討する。

2. 解析手法と手順について

建設省では、全国103カ所の砂防ダム堆砂量実測および流域諸特性値の計測等に関する資料を収集している²⁾。

こゝでは、これら資料から流域面積が100 km²以下かつ砂防ダム堆砂期間が1年以上の86カ所の砂防ダム堆砂量 (g_s : m³/km²/year) を着目し、さらに、これに影響を及ぼすであろう流域特性値のうち、定量的特性値として、流域面積 (A : km²)、長年間の平均年間雨量 (R : mm/year)、堆砂期間中の平均年間雨量 (R' : mm/year)、堆砂期間中の継続50 mm以上の雨量 (R_{50} : mm/year)、堆砂期間中の継続100 mm以上の雨量 (R_{100} : mm/year)、流域平均標高 (Me : m) および起伏量比 (R_r) の7特性値を、定性的特性値としては、地質-1 (G_1 : 古生層、中生層等の古期堆積岩類からなる流域)、地質-2 (G_2 : オニ、四紀層、火山碎屑物等の新期堆積岩類からなる流域)、地質-3 (G_3 : 深成岩、半架岩および変成岩類からなる流域) および地質-4 (G_4 : 安山岩、石英斑岩等の噴出岩類からなる流域) の4特性値を選定している。

上述の流域諸特性値による土砂堆砂量を推定する基本式は、 $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \dots (1)$ である。

(1) 式を決定するために、まず定量的特性値による式を設定する。

$$\log g_s = b_0 + b_1 \log A + b_2 \log R + b_3 \log R' + b_4 \log R_{50} + b_5 \log R_{100} + b_6 \log Me + b_7 \log R_r \dots (2)$$

こゝで、 b_0 を定数、 $b_1 \sim b_7$ を偏回帰係数という。

こゝにおいて、(2) 式中の流域諸特性値は、各々が独立でありかつ土砂堆砂量を最もよく説明している特性値であるという保証がないこと、また多数の特性値による推定式は実用的ではないという観点から、(2) 式に、変数を1つずつ加えたり、減したりし回帰の変動の占める割合で定義される“寄与率”を最大にする、いわゆる逐次選択法である、変数増加法、減少法、増減法および減増法による変数選択手法と、各特性値間の相関係数および因子負荷量を考え合わせるにより変数選択の手法として利用する主成分分析法を併用することにより、推定値と実測値との適合性を表わす重相関係数 R の低下が僅少な範囲内で、意味ある少数個の特性値を選択する³⁾。なお、変数選択手法における変数打ち切り基準としての“F-値”は、2.0 を用いる。

次に、このようにして選択された流域特性値による推定式に、定性的特性値である地質を、図-1に示すような入力形式として導入し、これらによる重回帰分析を行なう。

3. 結果と考察

2. で述べた方法と手順に従って、主として掃出し法⁴⁾にて解析した、7流域特性値による重回帰分析結果 (Case-1)、重回帰分析による変数選択手法と主成分分析法を併用することにより、 R が最大値を示す手法による結果 (Case-2) および選択された流域特性値と地質区分別特性値とによる重回帰分析結果 (Case-3) は、各々以下のとおりである。

特性値	x_1	x_2	x_3
G_1	1	0	0
G_2	0	1	0
G_3	0	0	1
G_4	0	0	0

図-1

Case-1:

$$\log S_s = 0.2784 - 0.3253 \cdot \log A - 0.6224 \cdot \log R - 0.9244 \cdot \log R' + 0.8452 \cdot \log R_{50} + 0.6756 \cdot \log R_{100} + 1.3373 \cdot \log Me + 0.5099 \cdot \log R_r$$

重相関係数 $R = 0.6293$, 寄与率 $R^2 = 0.3961$, 回帰および残差の変動による分散比 $F = 7.308$

1%有意水準の値 $F^* = 2.87 (7, 80)$

Case-2:

$$\log S_s = -3.9935 - 0.5068 \cdot \log A + 0.7007 \cdot \log R_{100} + 1.8236 \cdot \log Me$$

$R = 0.6097$, $R^2 = 0.3718$, $F = 16.176$, $F^* = 4.04 (3, 80)$

Case-3:

$$\log S_s = -3.9115 - 0.5417 \cdot \log A + 0.6896 \cdot \log R_{100} + 1.8001 \cdot \log Me + 0.2038 G_1 - 0.0794 G_2 - 0.0296 G_3$$

$R = 0.6340$, $R^2 = 0.4019$, $F = 8.848$, $F^* = 3.04 (6, 80)$

なお主成分分析法による流域特性値の選択手法としては、固有値入が1以上の Z_1 , Z_2 および Z_3 に着目し, Z_1 は水文量の大きさを表わす因子, Z_2 は流域の大きさを表わす因子および Z_3 は流域の傾斜を表わす因子であると積極的に意味付けをし, 表-1に示してあるように, 各特性値間の相関係数が小さくかつ因子負荷量が最大を示すところの, R_{100} , A および Me の3特性値を選択している。

表-1 主成分分析法による結果

相関係数行列								固有値と寄与率				因子負荷量			
	A	R	R'	R ₅₀	R ₁₀₀	Me	R _r	主成分 No.	固有値	寄与率	寄与率%	特性値	Z ₁	Z ₂	Z ₃
A	1.0000	-0.0835	-0.1225	-0.0836	-0.1398	0.4655	-0.6227	1	3.720	0.531	0.531	A	-0.2403	-0.9215	0.1519
R		1.0000	0.7760	0.8488	0.8499	-0.3479	0.9146	2	1.651	0.236	0.767	R	0.9155	-0.1213	0.0297
R'			1.0000	0.8608	0.8191	-0.3127	0.0561	3	1.036	0.148	0.915	R'	0.9097	-0.0793	0.0825
R ₅₀				1.0000	0.9414	-0.2558	-0.0099	4	0.228	0.033	0.948	R ₅₀	0.9494	-0.1629	0.1233
R ₁₀₀					1.0000	-0.2653	0.0677	5	0.205	0.029	0.977	R ₁₀₀	0.9459	-0.0871	0.1456
Me						1.0000	0.1213	6	0.111	0.016	0.983	Me	-0.4407	-0.3059	0.8240
R _r							1.0000	7	0.049	0.007	1.000	R _r	0.0792	0.8082	0.5382

以上の結果より, まず比推砂量を流域諸特性値より推定しようとする際の算定式は, その適合性を表わす重相関係数 R が 0.6 以上でありかつ有意水準 1% で高度に有意であることがわかる。また算定式における, 流域諸特性値の独立性と実用性の観点から特性値の選択を行なった場合における R の低下は僅少なことが, 選択された3特性値は, 比推砂量に影響を及ぼすであろう要因としてはかなり妥当なものであると言えよう。さらに, この選択された要因と定性的特性値である地質を図-1に示したような入力形式で導入した要因とによる解析結果において, その算定式の適合性がかなり良くなることがわかる。このことは, 従来地質区分別少数個の資料に基づいた推定式における再現性の問題点が及少なりとも解決できる方向性を示していると言えよう。

4. おわりに

“はじめに”でも述べたように, 流出土砂量に影響を及ぼすであろう要因は多岐かつ明確であるがゆえに, 決定的な推定式を見出すことはなかなか困難である。ここでは, 実測あるいは計画可能な範囲内で抽出された流域諸特性値より, 意味ある少数個の特性値の選択および地質を導入した場合の重回帰分析法により, 比推砂量を推定する算定式を検討したわけであるが, 現段階では, 流域面積 100 km² 以下の計画量としての比推砂量すなわち年平均流出土砂量を決定する目安の算定式としては, 地質区分を包含した Case-3 の場合が, かなり有効な手法であると言える。最後に, こゝのような方法にて解析する場合, 最も問題とされるのは, 入力資料の値であり, 今回はその面での検討が十分であること, 今後より精度よい推定式を確立する上でもこれらの十分の整備が必要であると言える。

参考文献 1) 興野他: 多変量解析法, 日科技連, 2) 才20回建設省技術報告(842), 3) 才32回年報, P.133~134