

### 1. はじめに

土砂災害を防止するための砂防計画の基本は、流出土砂量の定量的把握にある。そこで建設省では、このための1つの方法として、砂防ダム堆砂量の堆砂量に着目し、その実測資料とこれに関連するであろう諸因子とに重回帰分析を適用することにより、流出土砂量を推定する算定式を提案している。

ここでは、この算定式をより実用的なものとするために、重回帰分析による変数選択手法および主成分分析法を用いて、諸因子から意味ある少数個の因子の選択について考察する。

### 2. 重回帰分析法による変数選択手法および主成分分析法について

重回帰分析とは、 $p$ 個の因子（説明変数という） $x_1, x_2, \dots, x_p$ に関する知識に基づいて、目的変数 $y$ に関する情報を得るために、 $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p$  (1) のモデルを決定することである。ここで  $b_0$  を定数、 $b_1, b_2, \dots, b_p$  を偏回帰係数という。そしてこの変数選択手法とは、目的変数の値を予測する上で役立つ、管理あるいは実測しやすかつ変数間の相関がなるべく小さな説明変数を選択するための方法である。

また、主成分分析法とは、 $p$ 個の因子（特性値という） $x_1, x_2, \dots, x_p$  のもつ情報を、各々の相関がすべてゼロでありかつ最大の分散をもつ幾何特性値  $z_1, z_2, \dots, z_m$ （ $0 \leq m \leq p$ 、 $z_1, z_2, \dots, z_m$  主成分という）に要約し、サンプルの分類あるいは順位づけをする手法である。

### 3. 解析資料について

建設省では、全国103箇所の砂防ダム堆砂量実測値、諸因子の計測値および各流域の地質などに関する貴重な資料を収集している。そして目的変数としては、比堆砂量（ $g_s$ :  $m^3/km^2/year$ ）を、説明変数としては、流域面積（ $A$ :  $km^2$ ）、計画貯砂量（ $S_2$ :  $m^3$ ）、長年間の平均年間雨量（ $\bar{R}$ :  $mm/year$ ）、堆砂期間中の平均年間雨量（ $\bar{R}'$ :  $mm/year$ ）、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9因子を抽出し、適宜組み合わせることにより検討している。

ここでは、予じめの検討結果により、説明変数としては、 $A, \bar{R}, Me$  および  $R_r$  の4因子を取り扱う。また地質区分としては建設省の場合と同様に、①地質-I: 古期堆積岩（古土層、中土層）からなる流域（19箇所）、②地質-III: 新期堆積岩（ $Q_3$ , 四紀層、火山砕屑物）からなる流域（32箇所）、③地質-IV: 深成岩、半深成岩および変成岩類（花崗岩、閃緑岩、斑岩、片麻岩）からなる流域（30箇所）、④地質-V: 噴出岩類（安山岩、石英粗面岩等）からなる流域（15箇所）、の4区分とする。

### 4. 解析方法について

(1) 式のモデル決定に際しては、入力資料をすべて対数変換し、次式の流出土砂量算定式とする。

$$\log g_s = b_0 + b_1 \log A + b_2 \log \bar{R} + b_3 \log Me + b_4 \log R_r \quad \text{-----(2)}$$

そして変数選択手法としては、変数を1つずつ加えたり、減したりし、回帰によって説明される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①変数増加法、②変数減少法、③変数増減法、④変数減増法を用い、変数打ち切り基準としての“F-値”を、 $2.0$  および  $2.5$  とし、比較検討する。

また、主成分分析法であるが、2.で述べたようにこの手法のそもぎもの目的は、幾何特性値  $z_1, z_2$  などのスコア（ $z_{a1}, z_{a2}$ ）を用いて、サンプルの分類あるいは順位づけをすることであるが、ここでは各因子間の相関係数および因子負荷量とを考慮することにより、変数を選択する方法として利用する。

## 5. 結果および考察

表-1は、103箇所および地質区分における、4因子に対する通常の重回帰分析結果、F値に基づいて変数選択し、予測値と実測値の適合性を表わす「重相関係数 R」が最大値を示す手法による結果および主成分分析法にて選択した2因子による重回帰分析結果を示している。

ほか、主成分分析法による因子の選択方法としては、たとえば一例として表-1に示してあるように、固有値入の合計が1以上の  $Z_1, Z_2$  に着目し、 $Z_1$  を流域の大きさを表わす因子、 $Z_2$  を流域の傾斜を表わす因子であること積極的に意味づけをし、各特性値間の相関係数が小さくかつ因子負荷量の最大値を示す、流域面積 A および流域平均標高  $M_e$  の2因子を選択している。

表-1 主成分分析法による結果(103箇所の場合)

| 相関行列 |       |         |         |         | 固有値と寄与率 |       |       |       | 固有ベクトル |                |                |     | 因子負荷量          |                |  |  |
|------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|--------|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|--|--|
|      | A     | R       | Me      | Rr      | 主成分     | 固有値   | 寄与率   | 累積寄与率 | 特性値    | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | 特性値 | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> |  |  |
| A    | 1.000 | -0.0400 | 0.4043  | -0.5885 | 1       | 1.652 | 0.413 | 0.413 | A      | 0.7284         | -0.1136        | A   | 0.9361         | -0.1352        |  |  |
| R    |       | 1.000   | -0.3401 | -0.0666 | 2       | 1.417 | 0.354 | 0.767 | R      | -0.2018        | -0.5721        | R   | -0.2593        | -0.6810        |  |  |
| Me   |       |         | 1.000   | 0.1955  | 3       | 0.758 | 0.189 | 0.957 | Me     | 0.4023         | 0.6089         | Me  | 0.5170         | 0.7248         |  |  |
| Rr   |       |         |         | 1.000   | 4       | 0.174 | 0.043 | 1.000 | Rr     | -0.5166        | 0.5376         | Rr  | -0.6639        | 0.6398         |  |  |

表-2 通常の重回帰分析、変数選択手法および主成分分析法による偏回帰係数

|               | $b_0$    | $b_1$   | $b_2$  | $b_3$   | $b_4$   | R      | $R^2$  | $R^{**}$ | F      | $F^*$ | 各数値および記号の説明           |
|---------------|----------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|--------|-------|-----------------------|
| 103箇所         | -8.6400  | -0.2713 | 1.0767 | 1.2574  | 0.5362  | 0.5500 | 0.3025 | 0.2740   | 10.625 | 2.46  |                       |
|               | "        | "       | "      | "       | "       | "      | "      | "        | "      | "     | 各区分の数値:               |
|               | -0.9432  | -0.4483 |        | 1.4279  |         | 0.5261 | 0.2768 | 0.2623   | 19.134 | 3.09  | 上段: 通常の重回帰分析          |
| 地質-I (19箇所)   | -10.2207 | -0.6238 | 1.2902 | 3.0336  | -0.6487 | 0.7275 | 0.5293 | 0.3948   | 3.936  | 3.11  | 中": 変数選択手法による         |
|               | -2.2772  |         |        | 1.7058  |         | 0.6155 | 0.3788 | 0.3423   | 10.369 | 4.45  | 下": 主成分分析法による         |
|               | -2.9358  | -0.3376 |        | 2.0942  |         | 0.6609 | 0.4368 | 0.3664   | 6.205  | 3.63  |                       |
| 地質-III (32箇所) | -2.7849  | -0.0614 | 2.0975 | 0.1068  | 1.8917  | 0.6936 | 0.4811 | 0.4042   | 6.258  | 2.73  | R: 重相関係数              |
|               | -2.1817  |         | 2.0272 |         | 2.0263  | 0.6932 | 0.4806 | 0.4448   | 13.416 | 3.33  | $R^2$ : 寄与率           |
|               | 4.5026   | 0.0275  |        |         | 1.9793  | 0.6325 | 0.4000 | 0.3586   | 9.667  | "     | $R^{**}$ : 自由度調整済み寄与率 |
| 地質-IV (30箇所)  | -2.8803  | -0.3815 | 0.9860 | 0.9443  | -0.1923 | 0.5819 | 0.3386 | 0.2228   | 3.200  | 2.76  | F: 回帰および残差の変動         |
|               | 1.2223   | -0.3379 |        | 0.6864  |         | 0.5659 | 0.3202 | 0.2699   | 6.360  | 3.35  | による分散比                |
|               | "        | "       |        | "       |         | "      | "      | "        | "      | "     | $F^*$ : 5%有意水準の値      |
| 地質-V (15箇所)   | 3.6446   | 0.1091  | 0.2161 | -0.0763 | 1.7789  | 0.7693 | 0.5918 | 0.4285   | 3.625  | 3.48  |                       |
|               | 4.1512   |         |        |         | 1.6221  | 0.7598 | 0.7773 | 0.5448   | 17.786 | 4.67  |                       |
|               | 4.1074   | 0.1291  |        |         | 1.7785  | 0.7671 | 0.5885 | 0.5799   | 8.579  | 3.88  |                       |

表-2より、選択された2因子による流出土砂量を推定する算定式は、5%有意水準で有意であり、かつ4因子による場合と比較して、重相関係数においてその差は僅少であることが解る。このことは、現段階において流出土砂量に影響を及ぼす因子を2因子と設定しても十分説明しうると言えよう。

しかしながら、全般的に見て、これら算定式の精度を表わす重相関係数が比較的小さいこと、および抽出されている諸因子が地形的要因に偏っていることとはか問題であろう。今後、さらに意味ある因子による高精度の算定式を確立するためには、相対する諸因子を整備する必要があらう。

## 6. おわりに

ここでは、流出土砂量を推定する算定式の実用化を主目的に、この土砂量に影響を及ぼすであろう少数個の因子の選択について、重回帰分析による変数選択手法および主成分分析法を併用することにより検討した結果、これらの方法の有意性ととも、一応の成果を示すことができた。今後は、入力資料である諸因子の相対および地質を含んだ算定式などについて検討して行きたい。

参考文献 1) 才19, 20 国建設省技術研究会報告(昭41, 42), 2) 奥野 他: 多変量解析法, 日科技連, 17-72, 159-203, 3) 山本: 流域特性値の選択に関する一考察, 環境情報科学 6-4 1977, 70-76