

タンクモデルパラメータの感度分析と総合化に関する研究 Sensitivity analysis and regionalization of Tank Model parameters

○楊 暢, 田中丸治哉, 多田明夫

○Chang YANG, Haruya TANAKAMARU and Akio TADA

1. はじめに 日本で広く利用されている長期流出モデルである直列 4 段タンクモデル (Fig.1) は, パラメータ数が多いこともあって, 流域特性値からパラメータを推定する総合化が難しく, 未だに実用レベルに達した総合化は確立していない. 本研究は, タンクモデルのパラメータ総合化を目指したものであるが, まず総合化の対象とするパラメータ数を減らす可能性を探るために, パラメータの感度分析を行い, 高感度パラメータを特定する. 次に, 全パラメータを流域特性値から推定したモデル, 高感度パラメータだけを流域特性値から推定したモデルの適応性を調べ, パラメータ総合化の可能性を検討する.

2. 対象流域と最適モデル 対象流域は, 積雪の影響が少ない西日本における 18 ダム流域である (Table 1). 各流域の 1983 年 1 月から 1986 年 12 月まで (青蓮寺流域は 1978 年 1 月から 1981 年 12 月まで) の 4 年間の水文資料 (日単位) を用い, 大域的探索法の一つである SCE-UA 法を用いて, 相対二乗誤差平方根 (下記数式の第 1 式) を最小化して同定したパラメータを最適パラメータ (x_{opt}), 18 流域の最適パラメータの平均値を平均パラメータ (x_{ave}) と呼ぶことにする.

3. 感度分析 各パラメータ x について, まず 18 流域の最適パラメータの上・下限値で囲まれる範囲 (x_{min}, x_{max}) を求めた後, その範囲の 1/10 を変化量 Δx として, 次式で感度を求めた.

$$J = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(Q_{ci} - Q_{oi})^2}{Q_{oi}^2}}, \quad S_L = \left| \frac{J_{x_{opt}} - J_{x_{opt} - \Delta x}}{\Delta x / (x_{max} - x_{min})} \right|, \quad S_R = \left| \frac{J_{x_{opt}} - J_{x_{opt} + \Delta x}}{\Delta x / (x_{max} - x_{min})} \right|, \quad S_{x_{opt}} = \frac{S_L + S_R}{2}$$

ここに, J : 誤差評価関数値, Q_{ci} , Q_{oi} : 計算流量, 観測流量, N : データ数, $J_{x_{opt}}$: 最適パラメータに対する J 値, $J_{x_{opt} - \Delta x}$: x_{opt} から Δx 減じたときの J 値, $J_{x_{opt} + \Delta x}$: x_{opt} に Δx 加えたときの J 値, $S_{x_{opt}}$: 最適パラメータ周りのパラメータ感度. 一方, 平均パラメータ周りのパラメータ感度 $S_{x_{ave}}$ を求めるときは, 上式の添字 x_{opt} を x_{ave} に置き換えればよい.

上述の方法で求めた最適パラメータ周りの感度を Fig.2 に, 平均パラメータ周りの感度を Fig.3 に示す. ここでは, 18 流域の平均感度を求め, 高感度のものから順番に並べている. 最適パラメータ周りとは平均パラメータ周りでパラメータの感度順が異なっているが, 全般的に見れば, いずれも浸透孔の感度が比較的高いこと, 流出孔の高さの感度は低いことが分かる. 以下の検討では, 平均パラメータ周りの感度を用いて, 上位 6 個ないし上位 3 個を高感度パラメータとして抽出することにした.

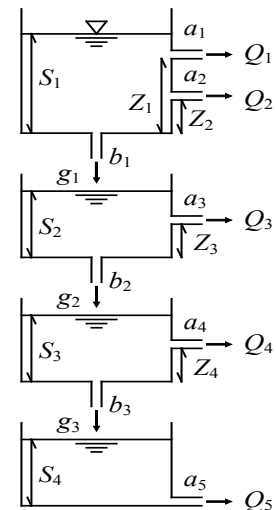


Fig.1 タンクモデル

神戸大学大学院農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

キーワード: タンクモデル, パラメータ, 感度分析, 総合化

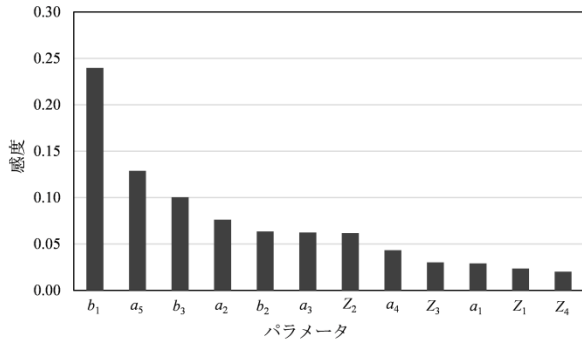


Fig.2 最適パラメータ周りの感度

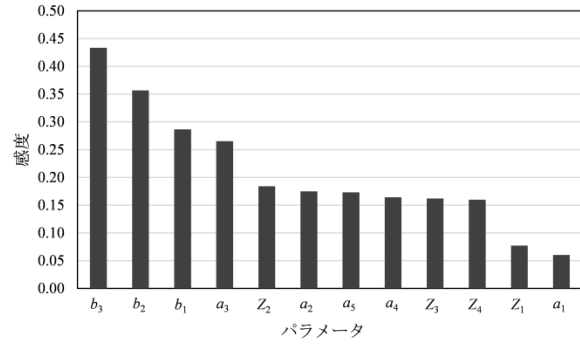


Fig.3 平均パラメータ周りの感度

4. 流域特性値による総合化 既往の研究を踏まえると、上層タンクのパラメータには流域面積が深く関係し、低水流出を表現する下層タンクのパラメータには流域の地質が深く関係すると思われる。そこで、流域面積、各地質の面積比率（第四紀火山岩類、第三紀火山岩類、花崗岩類、堆積岩類、変成岩類の占める割合）を説明変数、初期水深を除く 3～12 パラメータを目的変数とした重回帰式を作成することにした。ここでは、先の感度分析の結果を利用して、次の 5 種類のモデルを作成した。①最適モデル：12 パラメータに最適パラメータを採用したモデル、②重回帰モデル A：12 パラメータを重回帰式で推定するモデル、③重回帰モデル B：高感度 6 パラメータ ($b_3, b_2, b_1, a_3, Z_2, a_2$) を重回帰式で推定するモデル、④重回帰モデル C：高感度 3 パラメータ (b_3, b_2, b_1) を重回帰式で推定するモデル、⑤平均モデル：12 パラメータに平均パラメータを採用したモデル。なお、③、④では、重回帰式で推定したパラメータ以外は、平均パラメータを採用している。

5. 総合化モデルの再現性 次いで、先に述べた同定期間（4 年間）に検証期間（6 年間）を加えた 10 年間の水文資料に基づいて、これらのモデルによる長期流出解析を実施し、再現性を比較した。各モデルによる日流出高の平均相対誤差を **Table 1** に示す。当然のことながら最適モデルが最良の結果を示した。重回帰モデル A～C は、いずれも平均モデルの再現性を上回っていることから、流域特性値に基づくパラメータ推定の試みは一応成功している。また、重回帰モデル A～C の比較から、総合化対象のパラメータを減らすと再現性がかなり悪化する流域があり、最低でも 6 パラメータ程度は推定すべきであると思われた。

Table 1 各モデルによる日流出高の平均相対誤差 (%)

流域名	最適モデル	重回帰モデル A	重回帰モデル B	重回帰モデル C	平均モデル
油木	27.43	32.20	33.65	47.86	45.42
綾北	28.62	40.11	41.93	41.37	49.85
綾南	25.79	30.28	28.90	28.88	40.67
渡川	29.75	30.88	32.81	31.93	52.74
布部	23.83	26.91	28.71	27.96	27.01
日向神	25.12	26.85	35.01	45.88	53.50
川上	21.46	21.35	23.83	23.76	39.16
南畑	18.12	22.34	23.18	23.22	22.38
棕梨	34.53	33.40	42.54	41.92	40.12
力丸	26.91	40.91	31.84	33.16	34.67
佐波川	38.45	44.75	61.23	81.52	88.66
芹川	22.14	34.79	40.87	42.57	39.05
青蓮寺	33.74	42.56	41.95	36.68	43.13
下笠	23.34	44.43	43.50	29.06	23.94
七川	37.05	49.46	46.68	51.34	66.07
玉川	21.45	23.40	22.71	23.12	27.92
寺内	21.43	24.23	25.89	34.91	27.50
平均	27.01	33.46	35.60	37.95	42.46