

大域的探索によるタンクモデルパラメータの同定手法に関する一考察

中電技術コンサルタント(株) 河川部砂防グループ ○倉本和正
 中電技術コンサルタント(株) 河川部砂防グループ 杉原成満
 中電技術コンサルタント(株) 河川部砂防グループ 荒木義則

1. はじめに

「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)」では、土砂災害発生危険基準線(以下、CL)の降雨指標に60分間積算雨量と土壌雨量指数を用いることが示されている。土壌雨量指数とは、直列3段タンクモデルにおける各タンクの貯留高の合計値によって算出されるものであり、気象庁が全国の約5kmメッシュすべてに対して計算を行っている。当該タンクモデルは、各タンクがそれぞれ複数のパラメータを有し、それらが結合されているため、半減期のみをパラメータとする実効雨量に比べ、土中の水分状態を精度よく評価することが可能である。しかしながら、土壌雨量指数は、全国一律のパラメータを用いたタンクモデルに基づいて算出されるため、現状ではその特性が十分に活かされるとは言いがたい。今後、CLの精度を向上させるためには、地域特性を反映させたタンクモデルを用いて土壌雨量指数の算出を行うことが重要であると考えられるが、そのパラメータの同定は非常に複雑であるため、それらを簡易に同定できる手法の開発が必要である。

本研究は、タンクモデルパラメータの同定を正確かつ効率的に行う手法の開発を目的に、その同定に対して大域的探索手法を適用し、当該手法の有効性を検討する。

2. 解析手法

タンクモデルの同定では、大域的探索の代表的な手法である遺伝的アルゴリズム(以下、Genetic Algorithm: GA)¹⁾とDuanらによって提案された競争進化、集団混合の概念を組み合わせた大域的探索による最適化手法であるSCE-UA法(Shuffle Complex Evolution Method developed at the University of Arizona)²⁾を用いた。

3. 解析条件

パラメータ同定で対象とするタンクモデルは、土壌雨量指数の算出に用いられている直列3段タンクモデル(図-1参照)とした。当該モデルにおいて同定すべきパラメータは、流出孔4($\alpha_1 \sim \alpha_4$)、流出孔位置4($L_1 \sim L_4$)、浸透孔3($\beta_1 \sim \beta_3$)および各タンク初期水位3($S_1 \sim S_3$)である(合計14定数)。

解析では、土壌雨量指数を算出する際に用いるタンクモデルパラメータを真値とし、当該パラメータを用いた場合の流出量 Q_t ($\alpha_1 \sim \alpha_4$ からの流出量の合計値)と同定したパラメータを用いた場合の流出量 Q_c による誤差評価値が最小となるような探索を行う(式(1)参照)。表

-1に各パラメータの真値および探索範囲を示す。

$$J_{XS} = \frac{1}{M} \sum \frac{(Q_c - Q_t)^2}{Q_t} \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 J_{XS} : 誤差評価値
 M: データ数

また、解析における収束判定は、誤差評価値が 10^{-8} 未満となった場合とするが、誤差評価値が 10^{-8} 以上であっても、計算回数が100,000回に達した場合は計算を打ち切ることとした。

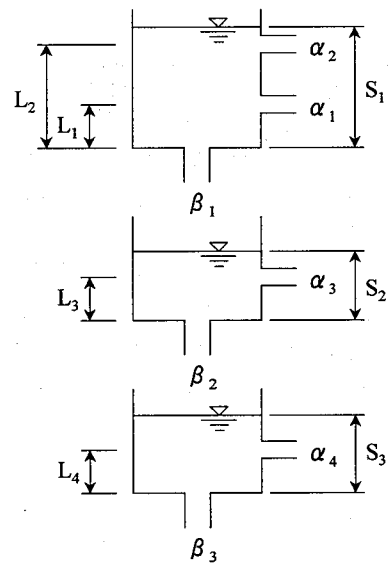


図-1 直列3段タンクモデル

表-1 パラメータの真値と探索範囲

Parameter	True Value	Feasible Space	
		Lower	Upper
L_1	15	0	20
L_2	60	0	80
L_3	15	0	20
L_4	15	0	20
α_1	0.1	0	0.3
α_2	0.15	0	0.3
α_3	0.05	0	0.15
α_4	0.01	0	0.05
β_1	0.12	0	0.3
β_2	0.05	0	0.15
β_3	0.01	0	0.05
S_1	21.169	0	60
S_2	2.761	0	10
S_3	0.225	0	1

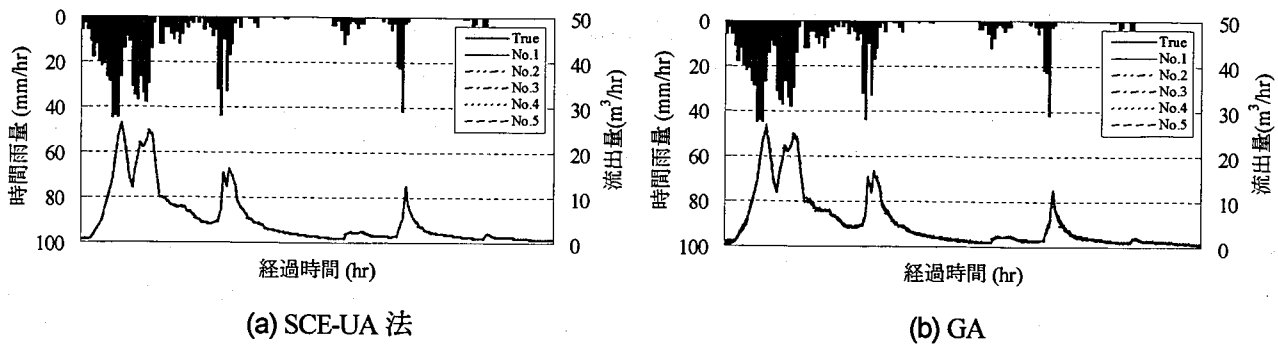


図-2 同定したパラメータを用いて算出した流出量の比較

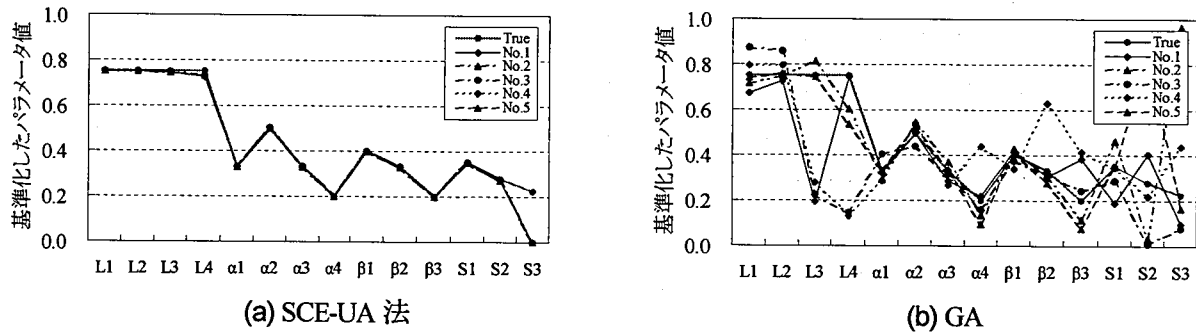


図-3 同定したパラメータ値の比較

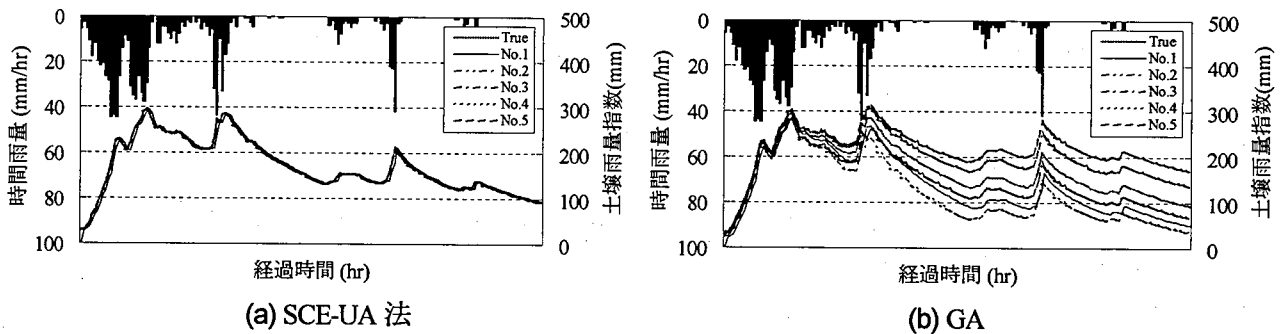


図-4 同定したパラメータを用いて算出した土壌雨量指数値の比較

4. 解析結果

本研究では、実際の降雨資料（時間雨量）を入力データとし、各手法に対してそれぞれ5回の試行を行った。解析結果を図-2～図-4に示す。同定したパラメータを用いて算出した流出量をみると、いずれの手法においても真値を用いた場合とほぼ同程度となっている（図-2参照）。しかしながら、試行ごとに同定したパラメータ値に着目すると、SCE-UA法では5回の試行でほぼ同値となるのに対して、GAではすべて異なる結果を示している（図-3参照）。これは、流出量に対しては、真値とは異なるパラメータセットを用いた場合であっても、同程度の値が算出可能であることを示している。しかしながら、各手法で同定したパラメータを用いて算出した土壌雨量指数（以下、指数）の結果をみると、GAではすべてのケースで真値による指数と明確な差異が現れているのに対して、SCE-UA法ではすべて真値による指数と同程度の結果を算出可能であった（図-4参照）。以上のこ

とを勘案すると、SCE-UA法はタンクモデルパラメータの同定に対して極めて有効な手法であると言える。

5. おわりに

タンクモデルパラメータの同定に対して、2つの大域的探索手法を用いてそれらの手法の有効性に関する検討を行った。その結果、SCE-UA法は、同定の正確性、再現性の観点からきわめて有効な手法であることが確認された。ただし、現状では数値的な実験段階であるため、今後は実際の水文観測データを用いて、当該手法の有効性をさらに検証していく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、坂和正敏、田中雅博：遺伝的アルゴリズム、朝倉書店、1995。
- 2) Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V. K. : Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models, Water Resources Research, Vol. 28, No.4, pp.1015-1031, 1992.