

## USF モデルパラメータ同定における SCE-UA 法の対数探索に関する検討

東京都建設局 土木技術支援・人材育成センター 正会員 ○高崎 忠勝  
 首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 河村 明  
 首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄  
 東京都建設局 河川部 正会員 石原 成幸

### 1. はじめに

降雨流出モデルのパラメータ同定においては SCE-UA 法が多く用いられている<sup>1)</sup>。SCE-UA 法は各パラメータについて設定した範囲内で探索を行うため、適切な同定値を得るにはパラメータ最適値が取り得る範囲を探索範囲とすることが必要となる。このため、パラメータ最適値が取り得る範囲が分からない場合、適切な同定値を得られない可能性がある。この対策としてパラメータの探索範囲を広く設定することが考えられるが、探索空間が広くなりパラメータ最適値の探索が難しくなる。ここでは、SCE-UA 法による USF モデル<sup>2)</sup>のパラメータ同定について、探索範囲を広く設定した上で一般的な探索と対数を用いた探索を行い、パラメータ最適値の探索能力の違いを確認する。

### 2. パラメータ同定の条件

式(1)~(4)で表される USF モデルに仮想降雨  $R$  を入力し、設定したパラメータ値を用いて出力した流量を  $Q$  とする。そして、 $R$  と  $Q$  に対して SCE-UA 法によりパラメータ同定を行う。

$$s = k_1(Q + q_R)^{p_1} + k_2(d/dt)(Q + q_R)^{p_2} \quad (1) \qquad ds/dt = R + I - E - O - Q - q_R - q_l \quad (2)$$

$$q_l = \begin{cases} k_3(s - z) & (s \geq z) \\ 0 & (s < z) \end{cases} \quad (3) \qquad q_R = \begin{cases} \alpha(Q + q_R - Q_o) & (\alpha(Q + q_R - Q_o) < q_{Rmax}) \\ q_{Rmax} & (\alpha(Q + q_R - Q_o) \geq q_{Rmax}) \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 $s$  : 総貯留高(mm),  $t$  : 時間(min),  $Q$  : 河川流出量(mm/min),  $q_R$  : 合流式下水道による流域外への雨水排水量(mm/min),  $q_{Rmax}$  : 最大雨水排水量(mm/min),  $q_l$  : 地下水関連損失量(mm/min),  $I$  : 都市特有の流入量・流域外からの地下水流入(mm/min),  $E$  : 蒸発散量 (mm/min),  $O$  : 取水量(mm/min),  $Q_o$  : 初期河川流出量(mm/min),  $\alpha$  : 下水道排出係数,  $z$  : 浸透孔高(mm),  $k_1, k_2, k_3, p_1, p_2$  : モデルパラメータ。

設定したパラメータ値は、 $k_1=40, k_2=1000, k_3=0.02, p_1=0.4, p_2=0.2, z=10, \alpha=0.5$  であり、計算に必要なとする他の条件については、 $Q_o=0.004, q_{Rmax}=0.03, E=0, I=0.001, O=0$  とする。 $R$  と  $Q$  は図-1 に示すように 1 分値を用いる。同定対象となるのは、 $k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, z, \alpha$  の 7 パラメータである。 $k_1, k_2, k_3, z$  は流域によって大きく値が異なるため、表-1 に示すように探索範囲を広く設定し、対数による探索（以下、対数探索）を行う。対数探索は、10 を底とするパラメータ値の対数を探索するものである。 $k_1, k_2, k_3, z$  について通常の探索（以下、通常探索）を行うものを Case1, 対数探索を行うものを Case2 とする。SCE-UA 法によるパラメータ同定は、100 世代まで計算を行うものとし、誤差評価関数は  $RMSE$  を用いる。

表-1 パラメータと探索の設定

パラメータ	設定値	探索範囲	Case1	Case2
$k_1$	40	$10^{-1} \sim 10^5$	通常探索	対数探索
$k_2$	1000	$10^{-1} \sim 10^5$	通常探索	対数探索
$k_3$	0.02	$10^{-5} \sim 10^0$	通常探索	対数探索
$p_1$	0.4	0 ~ 1	通常探索	
$p_2$	0.2	0 ~ 1	通常探索	
$Z$	10	$10^{-1} \sim 10^5$	通常探索	対数探索
$\alpha$	0.5	0 ~ 1	通常探索	

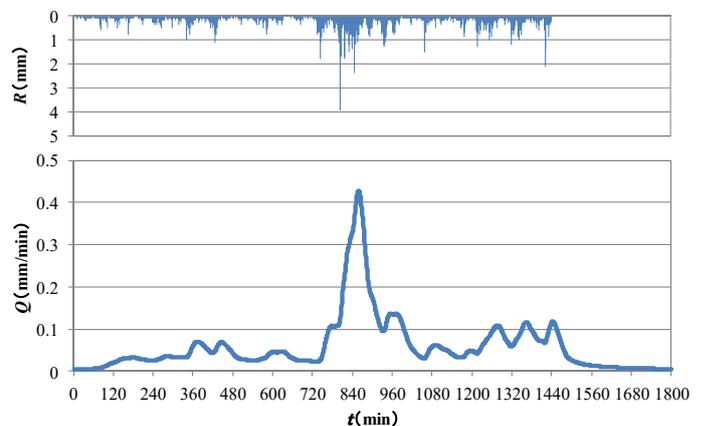


図-1 ハイエトハイドログラフ

キーワード SCE-UA, USF, 対数探索

連絡先 〒136-0075 東京都江東区新砂 1-9-15 東京都土木技術支援・人材育成センター E-mail: takasaki-tadakatsu1@tmu.ac.jp

### 3. 同定結果と考察

パラメータ同定値を表-2に、同定値によるハイドログラフを図-2に示す。Case1についてみると同定値は設定値と大きく異なり、ハイドログラフは流量の増減をまったく再現できていない。一方、Case2は設定値と同様の同定値が得られており、設定値によるものと同じハイドログラフとなっている。各世代における $k_1$ 、 $p_2$ のパラメータ値の分布とRMSEを図-3に示す。図において左にCase1、右にCase2を示している。 $k_1$ をみるとCase1は設定値付近の探索が行われていないが、Case2は設定値付近も含めて広範囲に探索が行われている。 $p_2$ をみるとCase1、Case2共に設定値付近の探索が行われているものの同定値は大きく異なっている。探索が適切に行えないパラメータがあると他のパラメータにも影響が及ぶものと考えられる。SCE-UA法で探索範囲を広く設定した場合、通常探索では下限値付近の探索が行われにくい、対数探索では下限値付近の探索も多く行われている。対数探索を行うことで通常探索と比べて探索範囲を広く設定することが可能になる。

表-2 同定結果

パラメータ	設定値	Case1	Case2
$k_1$	40	1764.5	40.0
$k_2$	1000	61.1	1000.0
$k_3$	0.02	0.454	0.020
$p_1$	0.4	1.00	0.40
$p_2$	0.2	0.97	0.20
Z	10	40331.2	10.0
$\alpha$	0.5	0.27	0.50
RMSE		0.06982672	0.00000029

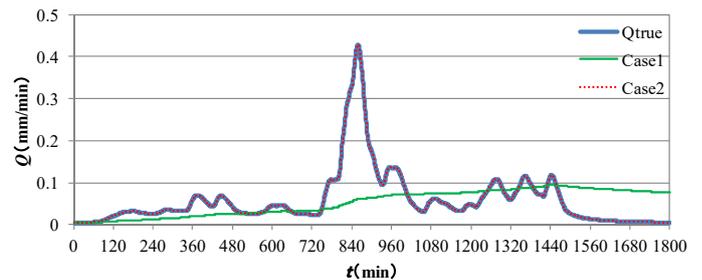


図-2 同定値によるハイドログラフ

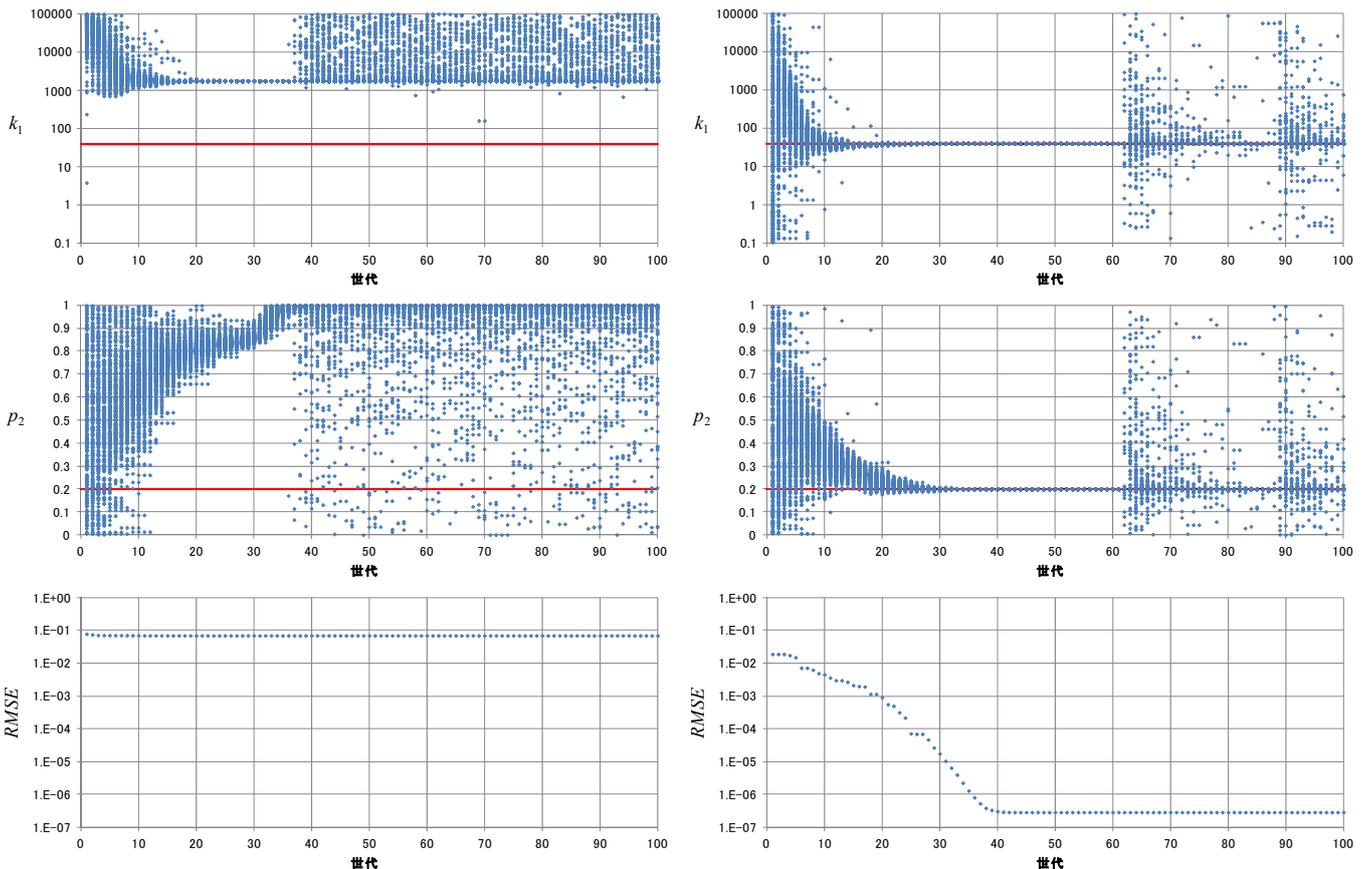


図-3 各世代の $k_1$ 、 $p_2$ 、RMSE (左: Case1, 右: Case2)

### 参考文献

- 1) 田中丸治哉：タンクモデル定数の大域的探索，農業土木学会論文集，1995巻，178号，p.503-512,a2，1995。
- 2) 高崎忠勝，河村明，天口英雄，荒木千博：都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案，土木学会論文集B，65巻3号，p.217-230，2009。