

粒子フィルタを用いたタンクモデルのパラメータ推定 Identification of Parameters of Tank Model Using Particle Filter

○古川 智大*, 村上 章*, 藤澤 和謙*

Tomohiro Furukawa, Akira Murakami, Kazunori Fujisawa

1. 背景

近年日本各地で大雨による大規模な災害が頻発しており、被害を減少させるには災害発生の危険性を未然に高い精度で評価することが重要である。菅原¹⁾によって考案されたタンクモデルは降雨流出過程を再現するモデルの1つであり、気象庁では土砂災害警戒情報²⁾や大雨警報の発表基準となる土壤雨量指数³⁾の計算に用いられている。しかし、タンクモデルのパラメータは技術者の経験的な判断で決定される場合が多く⁴⁾、本研究では降水量と流出量の関係から粒子フィルタ⁵⁾によってそれらを推定し降雨流出過程を再現することを目的とした。

2. 解析方法

使用したモデルは図1の気象庁で用いられている Ishihara & Kobatake⁶⁾の3段直列タンクモデルである。tを時間ステップとし、各タンクの貯留高 S_i ($i=1,2,3$) (mm)と各タンクの側面孔からの流出量 q_i ($i=1,2,3$) (mm/min)の計算式を以下に示す。

$$S_1(t+\Delta t) = (1 - (\beta_1/60)\Delta t)S_1(t) - q_1(t)\Delta t + R(t) \quad (1)$$

$$S_2(t+\Delta t) = (1 - (\beta_2/60)\Delta t)S_2(t) - q_2(t)\Delta t + (\beta_1/60)S_1(t)\Delta t \quad (2)$$

$$S_3(t+\Delta t) = (1 - (\beta_3/60)\Delta t)S_3(t) - q_3(t)\Delta t + (\beta_2/60)S_2(t)\Delta t \quad (3)$$

$$q_1(t) = (\alpha_1/60)\Delta t(S_1(t) - L_1) + (\alpha_2/60)\Delta t(S_1(t) - L_2) \quad (4)$$

$$q_2(t) = (\alpha_3/60)\Delta t(S_2(t) - L_3) \quad (5)$$

$$q_3(t) = (\alpha_4/60)\Delta t(S_3(t) - L_4) \quad (6)$$

ただし、 R (mm/min)は降水量、 α_i ($i=1,2,3,4$) (1/hr)は各タンクの側面流出孔の流出係数、 β_i ($i=1,2,3$) (1/hr)は各タンクの浸透流出孔の浸透係数、 L_i ($i=1,2,3,4$) (mm)は各タンクの側面流出孔の高さを表す。また、時間ステップの間隔 Δt は1分としたため、 α_i , β_i を60で割ることで単位を(hr)から(min)に合わせた。本研究では求めるパラメータを α_i ($i=1,2,3,4$), β_i ($i=1,2,3$)の計7つとし、 L_i は既知であるとした。以下に同定手順を示す。

1. 粒子フィルタに用いる実現値 (=粒子の数) を 10,000 とし、各粒子が持つ求めるべき7つのパラメータの値を表1に示す所定の範囲内で一様乱数に従って作成した。
2. 全ての粒子に関し以下の式(7)より算出した5種類の降水を与えてシミュレーションを行い、式(1)~(6)に基づき時間ス

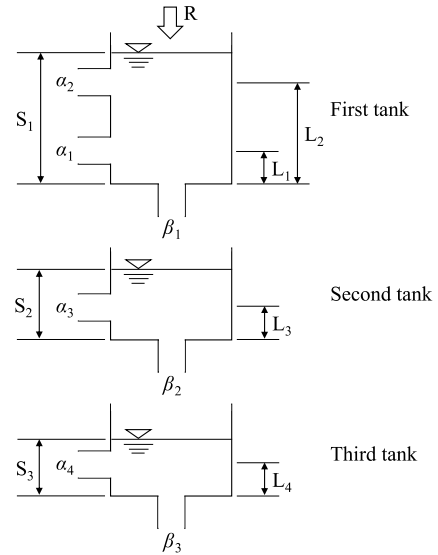


図1 3段直列タンクモデル

Fig.1 Three stage series tank model

表1 各粒子のパラメータの範囲

Table 1 Range of each parameter

パラメータ	粒子の範囲
α_1 (1/hr)	0.0100~0.3000
α_2 (1/hr)	0.0100~0.4500
α_3 (1/hr)	0.0100~0.1500
α_4 (1/hr)	0.0100~0.0300
β_1 (1/hr)	0.0100~0.3600
β_2 (1/hr)	0.0100~0.1500
β_3 (1/hr)	0.0100~0.0300

*京都大学大学院 農学研究科 *Graduate School of Agriculture, Kyoto University

Keywords: 流出特性, 逆解析, 数値解析

トップ毎の S_i, q_i を得た. なお, 式(7)における各係数の値を表 2 のように設定し⁷⁾, 全ての降水において $n = 2/3$, $T = 180$ (min)とした.

$$R(t) = (a/60) / (|t - T|^n + b) \quad (7)$$

3. 求めるべき真値として表 3 のように α_i, β_i を設定し, 手順 2 と同様にして各降水に対する時間ステップ毎の真の S_i, q_i を得た. これを粒子フィルタで用いる観測値とした.
4. 粒子ごとのシミュレーション結果を粒子フィルタに適用して各粒子の尤度を計算し, 尤度をもとに重み付き平均を求め, 推定値とした.

3. 解析結果

観測値が q_i のみの場合 (結果 1), S_i のみの場合 (結果 2), q_i と S_i の両方の場合 (結果 3) の 3 つに分けて解析を行った結果を表 3 に示す. 結果 1, 2 より, q_i か S_i のどちらか一方のみを観測値として用いた場合は, 全てのパラメータを同時に精度よく推定することはできなかった. 一方, 結果 3 より q_i と S_i の両方を観測値として用いた場合は全てのパラメータを極めて高精度で推定できた.

4. まとめと考察

側面流出量とタンクモデルにおける貯留高が観測できた時, それらの両方を用いると未知の流出係数が高精度で推定できることが分かった. しかし, タンクモデルは概念モデルであるため厳密な貯留高を観測から得ることは難しい. そこで, 側

面流出量のみを用いて流出係数を推定したところ流出係数自体は真値から離れた値となったが, 図 2 のように真の流出係数と推定された流出係数を用いた側面流出量を比較すると, 高精度で再現できる. 従って, 側面流出量のみを観測値としても, タンクモデルの持つパラメータを推定し降雨流出過程を再現することに対して粒子フィルタは有効であり, つまり, 降水量と側面流出量が得られればタンクモデルと粒子フィルタによって降雨流出過程の再現が可能であると結論づけられる.

参考文献

- 1) 菅原正巳: 流出解析法, 共立出版, 1972.
- 2) 国土交通省河川局砂防部, 気象庁予報部: 都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き, 2005.
- 3) 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斉藤 清: 土壌雨量指数, 日本気象学会, Vol.48, No.5, pp.349-356, 2001.
- 4) 杉原成, 福田慎哉, 倉本和正, 荒木義則, 朝位孝二, 古川浩平: SCE-UA 法を用いたタンクモデルの構築とそれを用いた土砂災害発生危険基準線の設定, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.67, No.1, pp.23-32, 2011.
- 5) 珠玖隆行, 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸: 粒子フィルタによる神戸空港島沈下挙動のデータ同化, 応用力学論文集, Vol.13, pp.67-77, 2010.
- 6) Ishihara, Y. and Kobatake, S: Runoff Model for Flood Forecasting, Bull. D. P. R. I, Kyoto Univ., Vol.29, pp.27-43, 1973.
- 7) 東京都総合治水対策協議会: 東京都雨水貯留・浸透施設技術指針 (資料編), 2009.

表 2 降水量の計算式の係数

Table 2 Coefficients of rainfall equation

係数	降水 1	降水 2	降水 3	降水 4	降水 5
a	700	900	1100	1200	1500
b	8.0	7.0	6.5	5.0	4.5

表 3 真値と粒子フィルタによる解析結果

Table 3 True and identified values using Particle Filter

パラメータ	真値	結果 1	結果 2	結果 3
α_1 (1/hr)	0.1000	0.0692	0.1742	0.1110
α_2 (1/hr)	0.1500	0.2284	0.0255	0.1213
α_3 (1/hr)	0.0500	0.0715	0.0454	0.0478
α_4 (1/hr)	0.0100	0.0162	0.0223	0.0159
β_1 (1/hr)	0.1200	0.0977	0.1230	0.1134
β_2 (1/hr)	0.0500	0.0522	0.0532	0.0468
β_3 (1/hr)	0.0100	0.0155	0.0103	0.0182

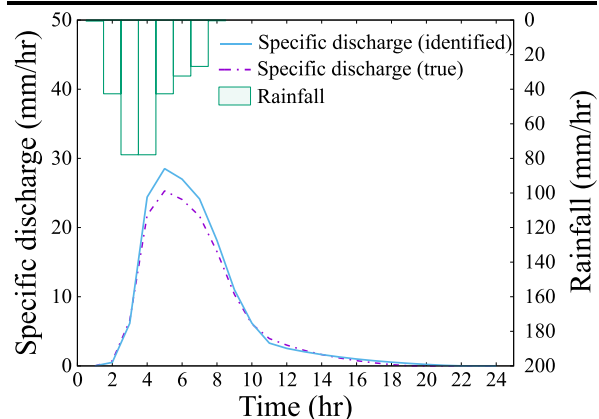


図 2 側面流出量の比較

Fig.2 Comparison of specific discharge