

複数の評価指標によるタンクモデルパラメータの最適化に関する検討

福岡大学大学院 学生会員 ○藤本雄大

福岡大学工学部 正会員 手計太一・佐藤研一・平野文昭

1. はじめに

タンクモデルは、そのモデル構造の簡便性や流出現象の表現性の良さ、また比較的精度が良いなどの理由から、現在、短長期の流出予測で最も頻繁にそして広く使われている流出モデルの一つである。しかし、タンクモデルのパラメータは初期値や探索範囲に依存し、流域毎に一意的な値に決めることは困難であることが知られている。そのため、タンクモデルのパラメータの同定手法に関する研究は数多くなされているが、パラメータを一意的に決定できないのが実情である。そこで、本研究では、物理的な制約条件の下、複数の評価指標でスクリーニングを行うことによって、流域に対してパラメータ値を一意的に決定することを目的とする。

2. モデルと使用データ

本研究では、パラメータ数を少なくするように勤め、図-1に示す7つのパラメータを有する2段タンクモデルを使用した。モデル中のH1, H2は貯留深 (mm), A1, A2は流出孔の大きさ, B1は浸透孔の大きさ, C1, C2は流出孔の高さ (mm) である。また、計算はすべて10分単位で行い、短期の出水を対象としたため、蒸発散量は考慮しない。

本研究における対象流域は、(独)土木研究所が1969年から継続的に水文観測を行っている流域面積3.12km²の裏筑波流出試験地¹⁾である。流域内は典型的な山地森林流域である。本研究で利用したデータは、1969年から1998年までの30年間に観測された洪水のうち、既往最大から順に30番目までの出水 (総降雨量: 26mm~300mm) を選択した。

3. 研究方法

タンクモデルの最適化手法は現在までに数多く検討されており、一定の成果が報告されている。本研究では、角屋ら²⁾によって、その実用性が確認されている拡張カルマンフィルタを使用した。なお、システム方程式のノイズは5%、観測雑音の標準偏差は1.0とした。パラメータ最適化の際の初期値の与え方としては、経験上適切な値を与える方法が用いられる。本研究では、実用性を考慮し客観的にパラメータの値を決定できるようにするために、それぞれのパラメータにおいて適切な初期値を決定し、5184通りの組合せを初期値として与えた。本研究では、計算流量が観測流量をどの程度再現しているのかを定量的に評価する指標として、総流出量誤差、ピーク流量誤差、相関係数、Nash Sutcliffe指標³⁾、対数二乗誤差基準の5つを用いた。

4. 解析結果

使用データがパラメータの最適化に与える影響として、出水規模やデータ数などが考えられる。そこで、それぞれのパラメータについて使用データの総降雨量及び降雨開始時までのデータ数と、最適化結果の標準偏差の関係について検討を行った。図-2は、使用データの総降雨量、降雨開始までのデータ数及びH2の標準偏差の関係である。プロットの大きさは、使用データにおける総降雨量の大きさを表している。降雨開始までのデータ数10以下において40mm以上のH2の標準偏差が確認される。そのプロットの大きさに着目すると、パラメータの最適化に使用したデータの総降雨量が大きいものほど、貯留深H2の標準偏差は大きいことがわかる。その要因として、タンク内で貯留することで流量を調節していることが挙げられる。H2の標準偏差が40mm以下のものに着目すると、使用データの総降雨量が小さいとH2の標準

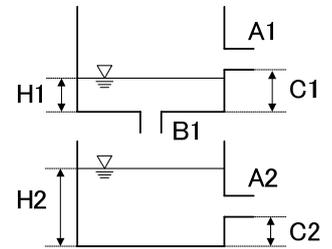


図-1 2段タンクモデル。

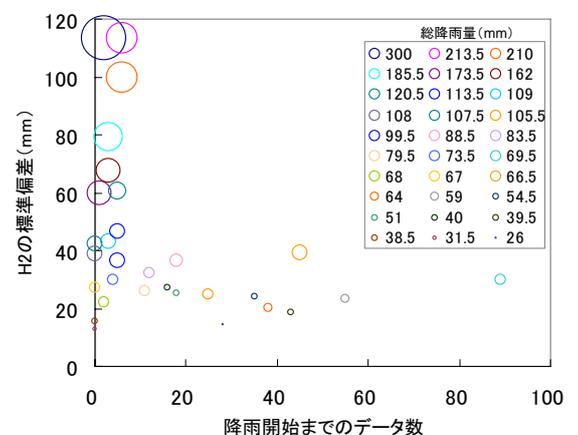


図-2 総降雨量、降雨開始までのデータ数及びH2の標準偏差の関係。

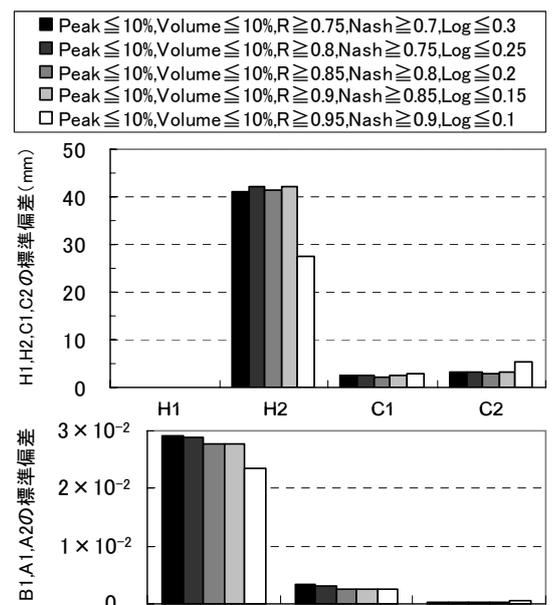


図-3 総流出量誤差率とピーク流量誤差率が10%以下を満足する条件下で、複数の評価指標を用いてスクリーニングを行ったときの、それぞれのパラメータの標準偏差。

偏差は降雨開始までのデータ数には依存しないことがわかる。また、H1の標準偏差においても同様の傾向が見られた。H1, H2以外のパラメータについては、パラメータの標準偏差と総降雨量の有意な傾向は見られなかった。

次に、総流出量誤差率10%以下かつピーク流量誤差率10%以下を満足することを条件に設定し、適合性を評価する相関係数、Nash Sutcliffe指標、対数二乗誤差基準を用いてスクリーニングを行った。その際、相関係数、Nash Sutcliffe指標、対数二乗誤差基準で単独にスクリーニングを行った場合、出水の残存数が同程度となるようにそれぞれの規準値を試行錯誤で決定した。図-3は、総流出量誤差率とピーク流量誤差率がともに10%以下

を満足する条件下で、複数の評価指標を用いてスクリーニングを行ったときの、それぞれのパラメータの標準偏差である。A1, B1の標準偏差はそれぞれの評価指標を理想値(相関係数:1, Nash Sutcliffe指標:1, 対数二乗誤差基準:0)に近づけていきスクリーニングを行うと小さくなっている。一方、A2, C1, C3の標準偏差はそれぞれの評価指標を理想値に近づけていきスクリーニングを行なうと、ある最小値をとってそれ以降は増加している。複数の出水を用いて流域固有のパラメータを同定するとA2, C1, C3は不安定な値をとると言える。

ここで、総流出量誤差率10%以下、ピーク流量誤差率10%以下、相関係数0.95以上、Nash Sutcliffe指標0.9以上、対数二乗誤差基準0.01以下でスクリーニングを行った結果、出水規模の違う4出水(総降雨量:173.5mm, 107.5mm, 79.5mm, 73.5mm)、合計10出水が残存した。その出水規模ごとのハイドロ・ハイトグラフの一例と同定結果を図-4に示す。出水規模の違う4出水ともピーク流量後、基底流に戻る部分において相違が見られる。これは、タンクモデルの段数が2段でありパラメータが7つであるため中間流が良く再現できていないためと考えられる。その他の部分においては精度良く推定できている。同定結果は、出水規模ごとにみると総降雨量107.5mmの出水ではC1の標準偏差が、総降雨量73.5mmの出水ではB1, C1の標準偏差が比較的大きくなっているが、全体的にみると出水規模ごとではパラメータの標準偏差は小さいと言える。また、図-2で、使用データの総降雨量が大きいとH1, H2の標準偏差が大きいことが示されたが、総降雨量107.5mmの2出水の結果からは、スクリーニングを行なうことでH1, H2の標準偏差は39mmから5mmになっており物理的に意味のないパラメータ値が排除されていると言える。

5. まとめ

本研究では、流域に対するパラメータ値を一意的に決定することを目的に、7つのタンクモデルパラメータについてそれぞれ適当な初期値を決め、その組合せを初期値としてカルマンフィルタでパラメータを最適化した。そして、総流出量誤差率、ピーク流量誤差率、相関係数、Nash Sutcliffe指標、対数二乗誤差基準の5つの評価指標を用いてスクリーニングを行い、その同定結果について検討を行った。その結果、流域固有のパラメータ値に決定することはできなかったが、複数の評価指標でスクリーニングを行うことで、出水規模ごとでは全体の適合度と短期の流出予測で重要となるピーク流量を精度良く推定できるパラメータ値に同定できることを示した。

謝辞:本研究の遂行に際し、(独)土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センターより裏筑波流出試験地の水文データの提供をしていただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 益倉克成・吉野文雄・吉谷純一・深見和彦・堀内輝亮・山邊満:裏筑波流出試験地調査成果報告書,土木研究所資料,第2959号,pp.4-26,1991.
- 2) 角屋睦・田中丸治哉:長短期流出両用モデルによる実時間洪水予測,農業土木学会論文集, No.177, pp.31-41, 1995.
- 3) Nash, J.E and Sutcliffe, J.V: River flow forecasting through conceptual models part I -A discussion of principles, J.of Hydrol., Vol. 10, pp.282-290, 1970.

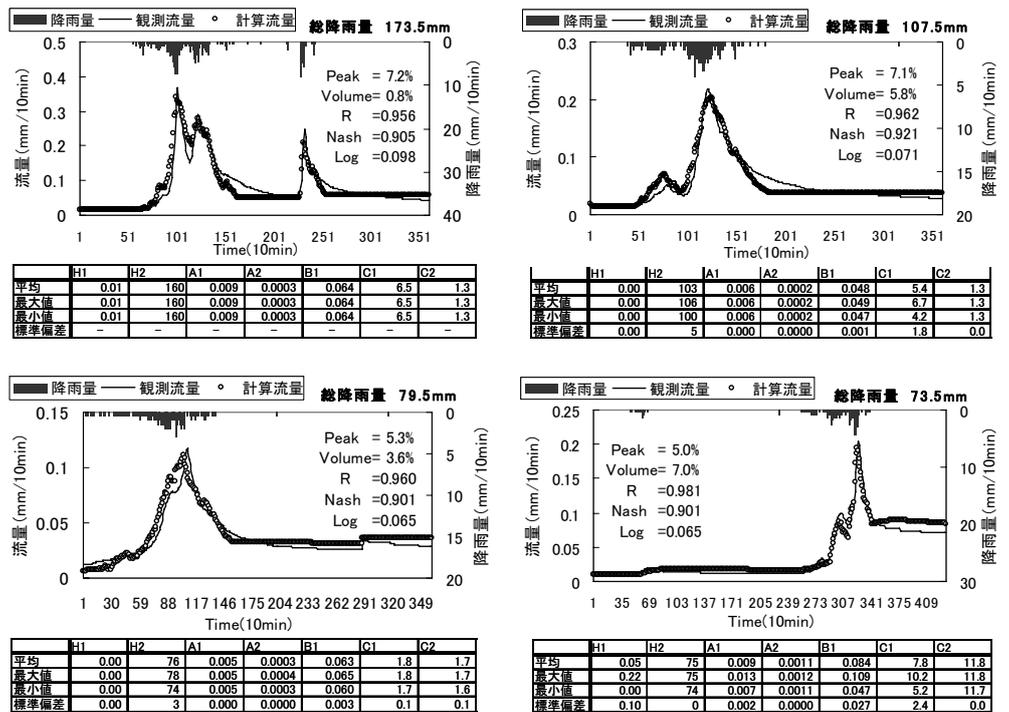


図-4 総流出量誤差率10%以下, ピーク流量誤差率10%以下, 相関係数0.95以上, Nash Sutcliffe指標0.9以上, 対数二乗誤差基準0.01以下でスクリーニングを行った出水規模ごとのハイドロ・ハイトグラフの一例と同定結果。