II－6

貯留関数法を組み込んだタンクモデルによる流出解析

北海学園大学工学部　正員 嵯峨　浩
北海道開発局開土研　ﾌｪﾛｰ 星　清
北海道工業大学工学部　正員 橋本識秀

1．はじめに

流出解析モデルとして、貯留関数法やタンクモデルが頻繁に使用されているが、その優れた性能の反面、次の様な欠点も持っている。貯留関数法は、基底流出・有効降雨の分離を行わなければならず、現場での流出予測手法に煩雑さをもたらす。また、タンクモデルは、多数の未知パラメーターの決定に多大な労を要する。これらの欠点を改善するために、藤田ら[1]は、基底流出分離を必要としない損失機構を有する貯留関数法を開発し、その優位性を確認している。また、著者らは、直列４段タンクモデルのパラメーターを数学的に最適化する手法を検討していたが、側方流出孔とその高さの相関性の強さの為に、必ずしも確実な収束性を約束するまでにいたっていない。

本研究は、上段タンクに損失機構を有する星モデル[2]、下段には線形貯水池に同様の機構を有するモデルを用いて側方流出孔の高さをなくしたタンクモデルを開発し、道内各地の中小河川の流出解析を行ったものである。なお、未知パラメーターの同定手法は、著者の一人[3]が開発した感度係数を用いたニュートン法を採用した。

2．流出モデル

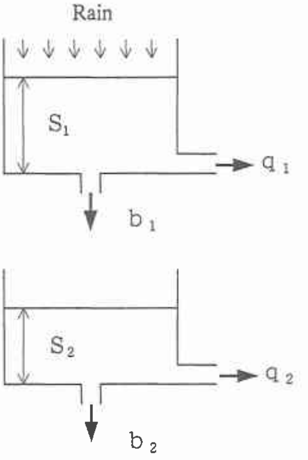
本研究で採用したタンクモデルは、図―１に示される直列２段タンクモデルである。従来のタンクモデルの側方流出孔の高さは、貯留関数の非線型性で表現される。

各タンクにおける連続の式および貯留関数を次式に示す。

$$\frac{dS_1}{dt} = r - q_1 - b_1$$
$$S_1 = k_{11} \cdot q_1^{p_1} + k_{12} \cdot \frac{d}{dt}(q_2^{p_2}) \qquad (1)$$
$$b_1 = \alpha_1 \cdot q_1$$

$$\frac{dS_2}{dt} = b_1 - q_2 - b_2$$
$$S_2 = k_2 \cdot q_2 \qquad (2)$$
$$b_2 = \alpha_2 \cdot q_2$$

$$q = q_1 + q_2 \qquad (3)$$



図―1　タンクモデルの構造

ここで、S_i：貯留高(mm)、　r：観測雨量(mm/hr)：、　q_i：流出量(mm/hr)、　b_i：浸透量(mm/hr)、

Runoff Analysis by a New Tank Model Coupled with the Storage Function Method
By Hiroshi SAGA, Kiyoshi HOSHI and Norihide HASHIMOTO

k_{ij}：タンク時定数、α_i：浸透孔係数である。未知パラメーターは、k_{11}、k_{12}、α_1、k_2、α_2の５個であり、p_1、p_2は流れがマニング則に従うとして、それぞれ0.6、0.4648に固定した。

上段のタンクは、降雨流出の非線型性を最も良く表現できる星モデルに浸透孔を付け加えた貯留関数で表現し、下段は、地下水流出を担当するものとして、単純な線形貯水池モデルに浸透孔を付け加えたものである。なお、浸透孔の表現方法は、藤田ら[1]の方法によった。

式（1）～（2）を、式（4）の様に変数変換し、線形化手法を用いることによって式（5）の様に変換する事ができ容易に解くことができる。詳細については、参考文献４）を参照されたい。

$$y_1 = q_1^{p_2} \qquad y_2 = \frac{d}{dt}(q_1^{p_2}) \qquad y_3 = q_2 \tag{4}$$

$$\frac{d\mathbf{Y}}{dt} = \mathbf{A}\cdot\mathbf{Y} + \mathbf{B} \tag{5}$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ a_1 & a_2 & 0 \\ a_3 & 0 & a_4 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ d\cdot r \\ 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

ここで、a_i、dは各パラメーターによって構成される定数である。

3.流出計算結果

解析の対象とした河川は、流域面積が１００ｋｍ²以内のほぼ道内各地域にわたる２２の中小河川であり、収束条件を満足した出水例は４３例である。収束条件は、ε_1＝{(観測流量ー計算流量）／観測流量}＝２％、または、ε_2＝{パラメーターの補正値／パラメーター}＝０．１％であり、どちらかを満足した時、収束と判断した。しかし、実際には、ほとんどの計算がε_1の条件によった。収束しなかった出水例は、解析期間の総観測流量Σｑが総観測雨量Σｒよりも大幅に上回っている場合、即ち、先行降雨の影響を強く受けた出水である。これは、本研究で提示したモデルが初期貯留量を持たない様に設定した為であり、本質的な問題であるので早急に改善したい。

計算結果の一例をを図ー２に示す。流域面積別に示しているがいずれも計算精度は良好である。特に、小流域において降雨・流量の観測時間が１時間であるにも関わらず、予想以上の好結果を得た。同定された各パラメーターと流域面積の関係を図ー３に示す。他に、パラメーターと総雨量、流出率、平均降雨強度との関係も求めたが、発表時に公表したい。 回帰曲線を求めているが、計算例が少ない上、流域面積も１００ｋｍ²以内なので明確な結論付けを行うことは現段階では無理である。今後、計算例を増やしパラメーター総合化を目指したい。

4.結論

本研究で得られた結論の要約は以下の通りである。

（１）従来のタンクモデルの非線型効果を表す側方流出孔の高さの変わりに損失機能を有する貯留関数モデルを用いた流出モデルを開発した。

（２）流出現象の遅れを直列型の２段タンクで表現することができた。

（３）直接流出量・有効降雨の分離を行うことなく観測流量・雨量をそのまま使用できるモデルであり、流出予測手法への応用が期待できる。

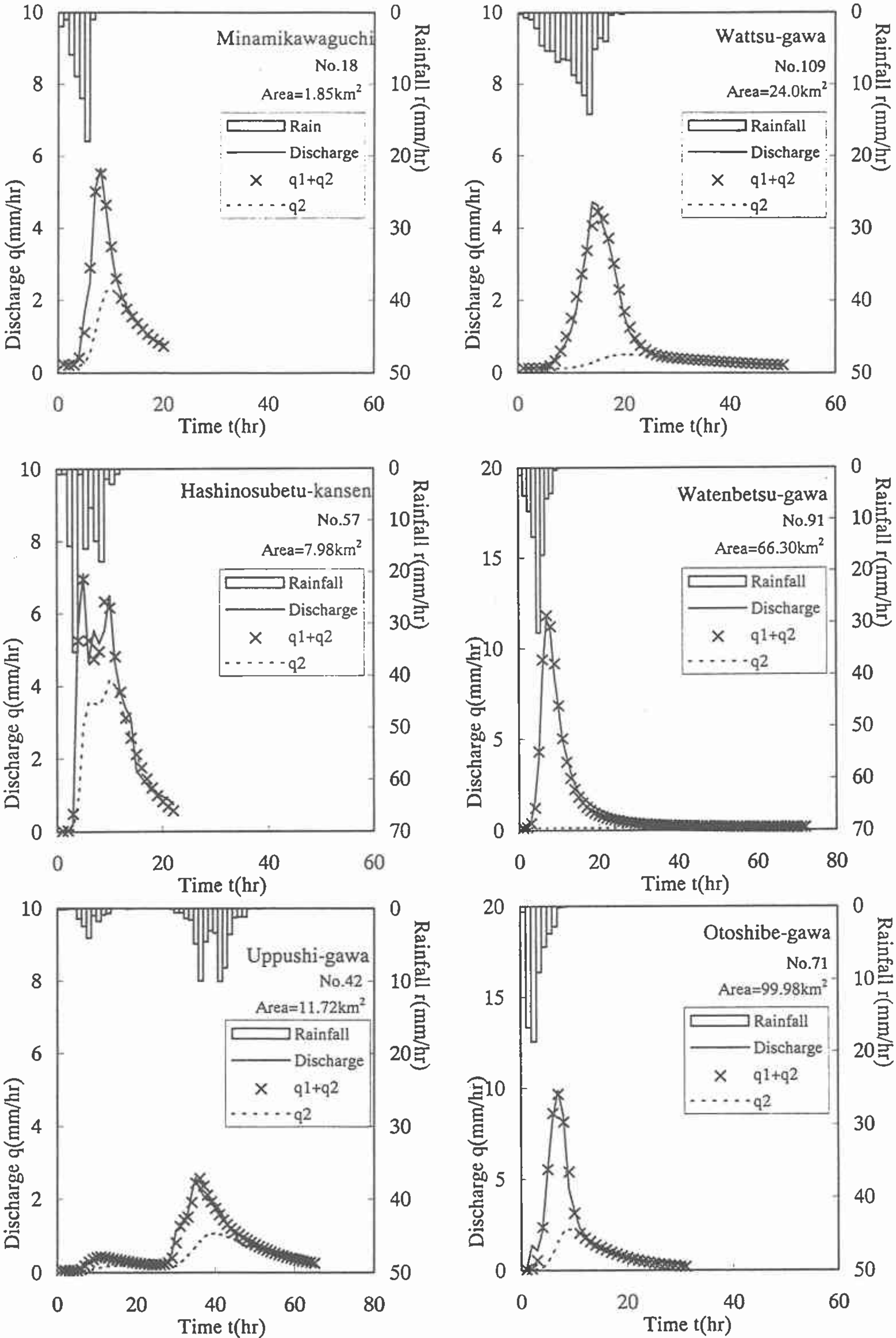
参考文献

1） 田中、藤田、清水：損失機構を含む貯留関数に関する研究、北海道支部論文報告集、第53号(B)、pp.54－59、1997

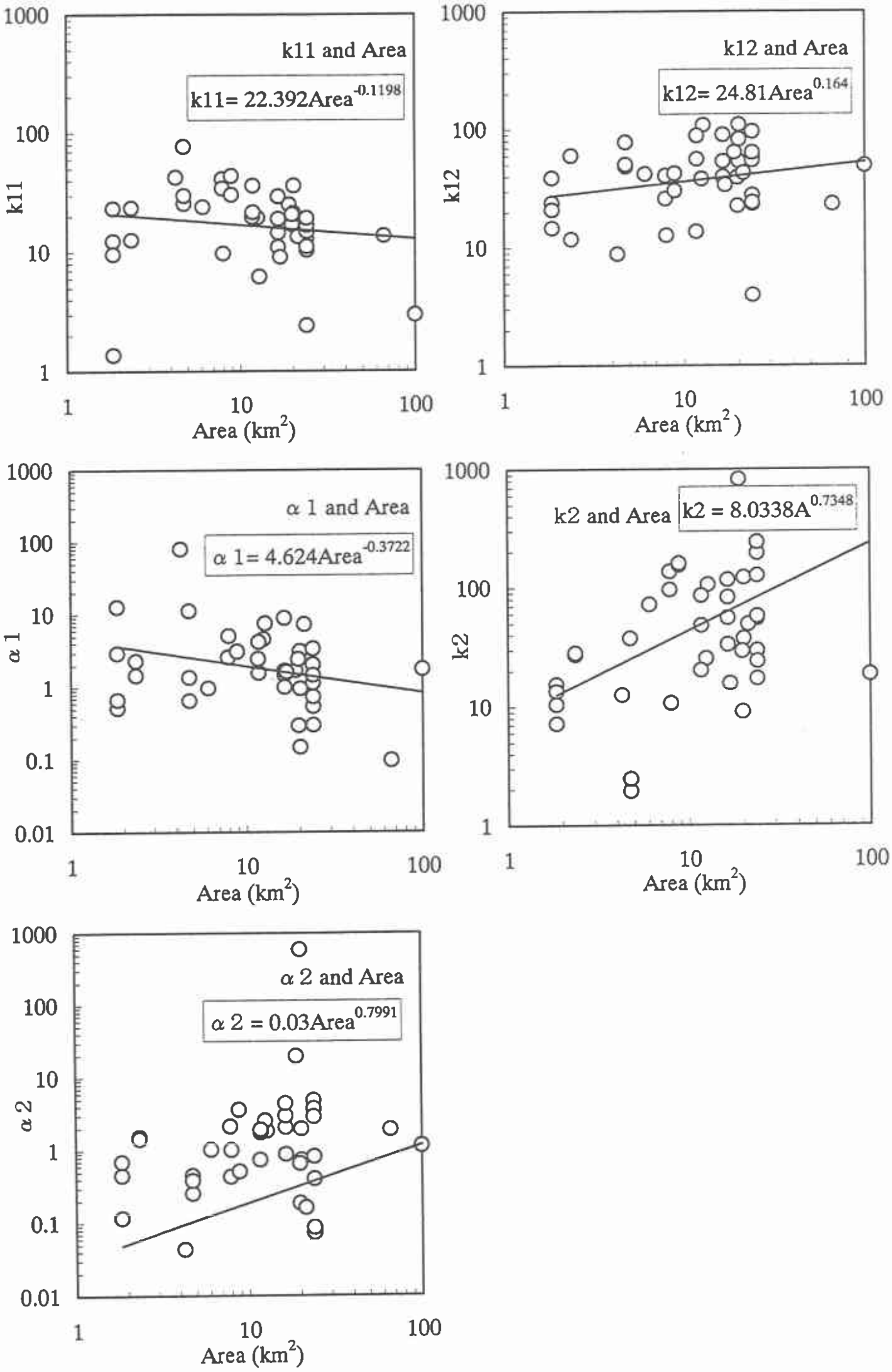
2） 馬場、星、：損失機構を取り入れた総合貯留関数法の試み、年次講演会概要集、第52回(II)、pp.316－317、1997

3） 星：やさしい数学的最適化手法、土木試験所月報、No.398、pp.26－35、1986

4） 星：やさしい微分方程式の数値解法、土木試験所月報、No.395、pp.129－38、1986


Minamikawaguchi
No.18
Area=1.85km²
Rain
Discharge
q1+q2
q2
Wattsu-gawa
No.109
Area=24.0km²
Rainfall
Discharge
q1+q2
q2
Hashinosubetu-kansen
No.57
Area=7.98km²
Watenbetsu-gawa
No.91
Area=66.30km²
Uppushi-gawa
No.42
Area=11.72km²
Otoshibe-gawa
No.71
Area=99.98km²
Discharge q(mm/hr)
Rainfall r(mm/hr)
Time t(hr)

図―2 流出計算結果



図—3　各パラメーターと流域面積の関係