

遊水モデルによる山地流域の流出解析

Rainfall-Runoff Analysis by Lumped Model with Retarding Area for Mountain Area

群馬工業高等専門学校 正員 山 本 好 克
正員 丸 井 信 雄

1. はじめに

著者らは、洪水流出（短期流出）も低水流出（長期流出）も同じ降雨から生起するものであるから、これらは一連となった流出過程であり、同一関数関係を用いて連続的に解析しようとする観点から、流域を貯留部と遊水部とからなる降雨・流出機構としたモデル（遊水モデル）を構築し、先に利根川水系神流川流域での実測洪水および低水流出量資料を用いた流出解析を行ない、遊水モデルによる降雨・流出機構の概念化の妥当性を確かめた。¹⁾

本研究では、遊水モデルによる山地流域の実測洪水および低水流出量資料の解析を通して、モデルの洪水・低水流出解析法としての有用かつ実用性を検討するとともに、モデルのパラメータと流域個有の特性値との関連性について考察する。

2 遊水モデルの基本式

遊水モデルでは、流域からの降雨の流出現象を支配するものは主として河道における貯留作用と河道わきの遊水作用であろうとし、図-1 に示すように流域を2段の直列した貯留池と考え、流域への面積雨量が上段の貯留池に流入し、貯留池に附属した遊水部で遊水作用を受けながら貯留池の主体である貯留部で貯留作用を受けて流出してそれが下段の貯留池へ流下する。そしてそこで同様の遊水作用と貯留作用を受けて貯留池から流下する流出量が、さらに変形や減衰することなく一定区間流下した流出量を流域からの全流出量と考えるものである。

こうしたモデルにおける降雨・流出機構を表現する基本式は、河道わきへの単位長さ当りの流出量を考慮した河道における不定流の連続条件式および運動方程式から導出され、モデル貯留部においてはそれぞれ式(1)、(2)で、また遊水部においては式(3)、(4)で与えられる。ここに遊水部の運動方程式(4)は、河道と河道わきとの間の流れ、すなわち貯留部と遊水部との間を浸透による流れを想定して導出した近似式である。式(4)の代わりに、河道わきを越流堤を越えて流入する遊水池、または氾濫源のような遊水地が存在するとし、貯留部と遊水部との間を鉛直な開口部の流れを想定した近似式を導出すると式(5)となる。¹⁾

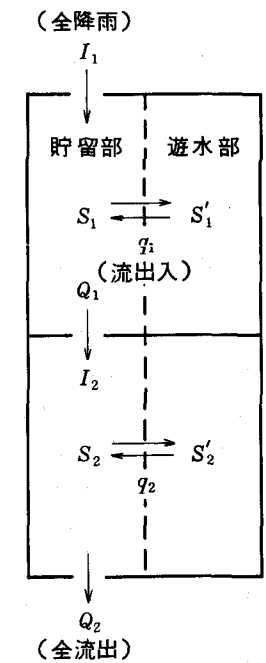


図-1 モデルの概念図

$$\begin{cases} \frac{dS_j}{dt} = I_j - Q_j - q_j - E_j & \text{..... (1)} \\ Q_j = k_j S_j^{m_j} & \text{..... (2)} \end{cases}$$
$$\begin{cases} \frac{dS'_j}{dt} = q_j & \text{..... (3)} \\ q_j = \alpha_j (S_j - \beta_j S'_j) & \text{..... (4) あるいは } q_j = \alpha'_j S'_j (S_j - \beta'_j S'_j) & \text{..... (5)} \end{cases}$$

ここに、 j : 段数 (上段を 1, 下段を 2 とする), S : 貯留部の貯留量, S' : 遊水部の貯留量, I : 貯留部への上流からの流入量 (上段の貯留部に対しては降雨、下段の貯留部に対しては上段の貯留部からの流出量を表わす), q : 貯留部から遊水部への流量 (遊水部から貯留部へ流れるときは符号が逆になる), E : 貯留部において発生する消失量, k ; m : 貯留部の下流への流出に関する定数, α ; β ; α' ; β' ; 遊水部への流出に関する定数、である。

さらにパラメータとして、下段貯留池から流下した流出量を一定区間流下するに要する時間 T (“ずれ時間”と呼ぶ) が必要となる。。

3. 遊水モデルによる流出解析法

遊水モデルによる迅速かつ実用的な流出解析を行うには、パラメータの数をできる限り少なくすることが望ましいので、上下 2 段ともに共通の定数 k , m , α , β (α' , β') を用い、基本式(1)から式(4) (あるいは式(5))を用いて次式を導出する。

$$\frac{dQ}{dt} = mk^{\frac{1}{m}} Q^{\frac{m-1}{m}} (\bar{I} - Q - q - E) \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{dq}{dt} = \alpha \{ \bar{I} - Q - (1 + \beta) q - E \} \dots\dots\dots (7)$$

あるいは、

$$\frac{dq}{dt} = \left[\alpha' \left(\frac{Q}{k} \right)^{\frac{2}{m}} \{ \bar{I} - Q - (1 + \beta') q - E \} + (\bar{I} - Q - q - E) q \right] \left(\frac{Q}{k} \right)^{-\frac{1}{m}} \dots\dots\dots (8)$$

こうして、 $\bar{I}$ を時間内の平均流入量として、式(6)と式(7)または式(6)と式(8)の連立微分方程式を各段ごとに Runge-Kutta 法を用いて解き、得られたハイドログラフを一定時間 T だけずらしたものが求める流出ハイドログラフとなる。この際、各パラメータは、それらが流域個有の特性によって決まるものとしているが、それには特性の異なる多くの流域での流出解析を行ない、それらの相互関連から捉える必要があるので、現段階では各流域について試行的に決定することになる。

このモデルでは、洪水流出計算と低水流出計算とは共通のパラメータとするものであるが、両者の計算で時間の単位を変えた場合にはパラメータの単位も変換する必要がある。実際には、1 時間単位の洪水流出解析を行ない、実測値と計算値との適合性が良好となるパラメータ値を探索し、このパラメータ値を日単位変換すなわち 24 倍して低水流出計算を行なえば求めるハイドログラフを得ることになる。なお、基本式(1)中の消失量 E は蒸発散量が主要なものであると考えられ、1 日数 mm 程度であろうから、低水流出に影響を与えるだけで洪水流出にはほとんど影響ないとする。

4. 遊水モデルの山地流域への適用

遊水モデルによる解析対象山地流域は、建設省所管の利根川水系鬼怒川上流の五十里ダムおよび川俣ダム、荒川水系荒川上流の二瀬ダム、水資源公団管理の利根川水系渡良瀬川上流の草木ダムの 4 多目的ダム上流域である。また解析資料は、各流域とも、昭和 52 年から昭和 57 年の間に生じた比流量 $1 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 以上の 4 洪水流出量および昭和 54, 55, 56 年の雪の影響がないと考えられる 6 月から 10 月までの 3 低水流出量である。

表-1 には、モデルのパラメータとの関連性を考察するために 40 万分の 1 土地分類図²⁾ から計測した各流域の特性値、および 4 洪水流出解析によって決定されたパラメータ値とその日単位変換値とを示してある。

なお、ここでの流出解析のための基本式は、貯留部と遊水部との間の流れを浸透によるとした式(1)から式(4)を用い、パラメータは、洪水流出量の実測値と計算値との相対誤差の平方和の値を参考に試行して決

定し、こうして決定されたパラメータの日単位変換値を用いて低水流出計算を行なった。

各流域での洪水流出解析結果および低水流出計算結果の一例を図-2から図-9に示してある。なお、低水流出計算では、蒸発散量を考慮しない場合と各月ごとに適宜見込んだ(降雨量が0.5 mm/day以上のときは見込み蒸発散量の半分とした)場合との結果を比較して示してある。

表-1 各流域の特性値とパラメータ値

特性値 ダム名	流域面積 〔km ² 〕	平均傾斜 〔度〕	平均谷密度	表層地質		パラメータ値		下段()日単位変換値		
				堆積岩 (%)	火成岩 (%)	k [mm ⁻² ・h ⁻¹] [mm ⁻² ・d ⁻¹]	m	a [h ⁻¹] [d ⁻¹]	β	T [h] [d]
五十里	271.2	29	22	20	80	1.8×10^{-5} (4.32×10^{-4})	3	0.03 (0.72)	0.6	0 (0)
川俣	179.4	28	21	35	65	1.8×10^{-5} (4.32×10^{-4})	3	0.04 (0.96)	0.4	0 (0)
二瀬	170.0	32	17	90	10	1.6×10^{-5} (3.84×10^{-4})	3	0.05 (1.20)	0.8	0 (0)
草木	254.0	28	25	25	60	2.0×10^{-5} (4.80×10^{-4})	3	0.03 (0.72)	0.4	0 (0)

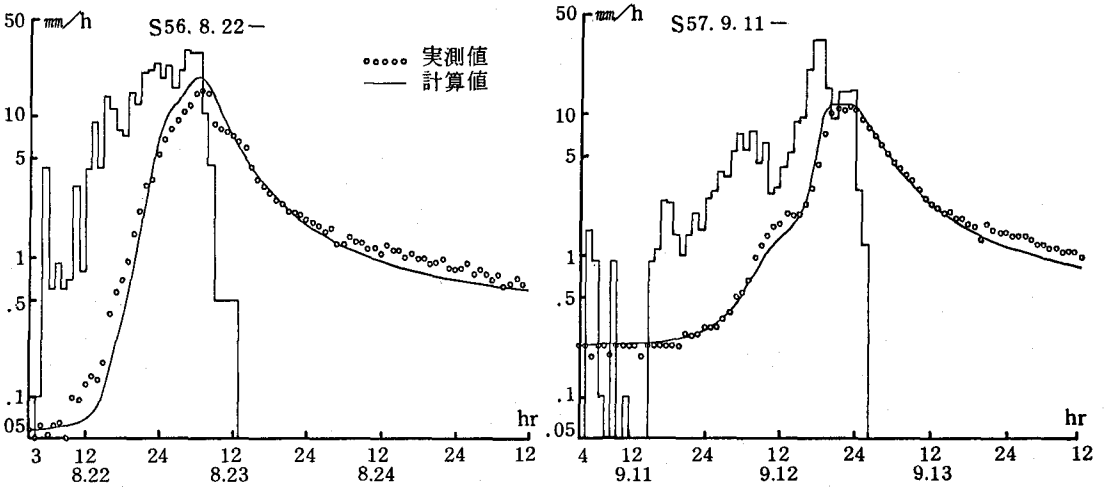


図-2 洪水流出解析例(五十里ダム流域)

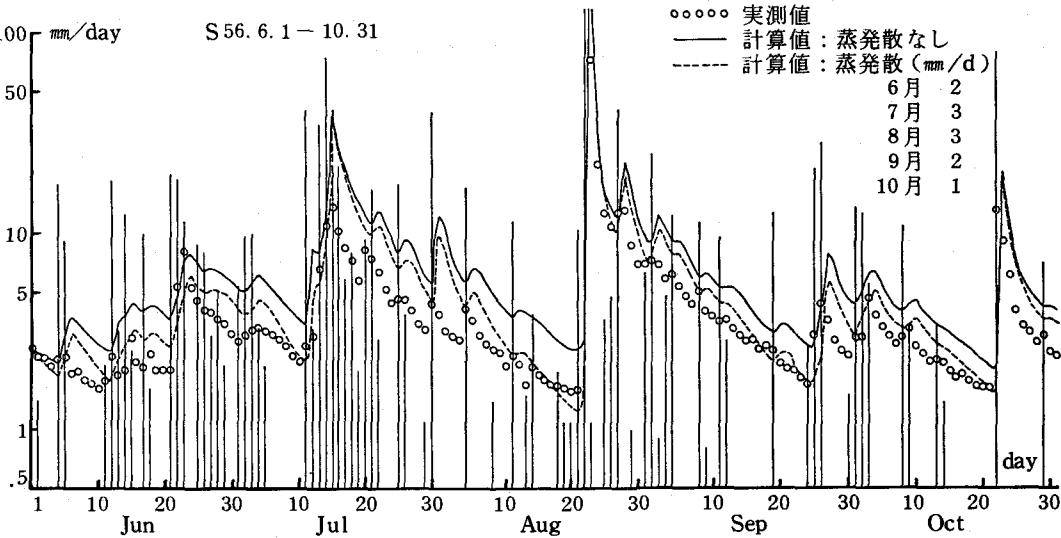


図-3 低水流出解析例(五十里ダム流域)

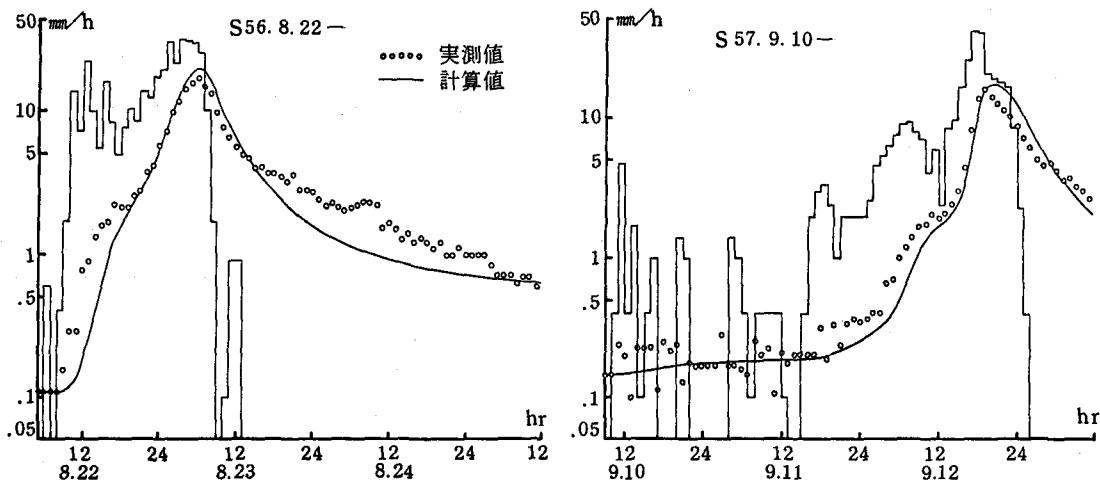


図-4 洪水流出解析例(川俣ダム流域)

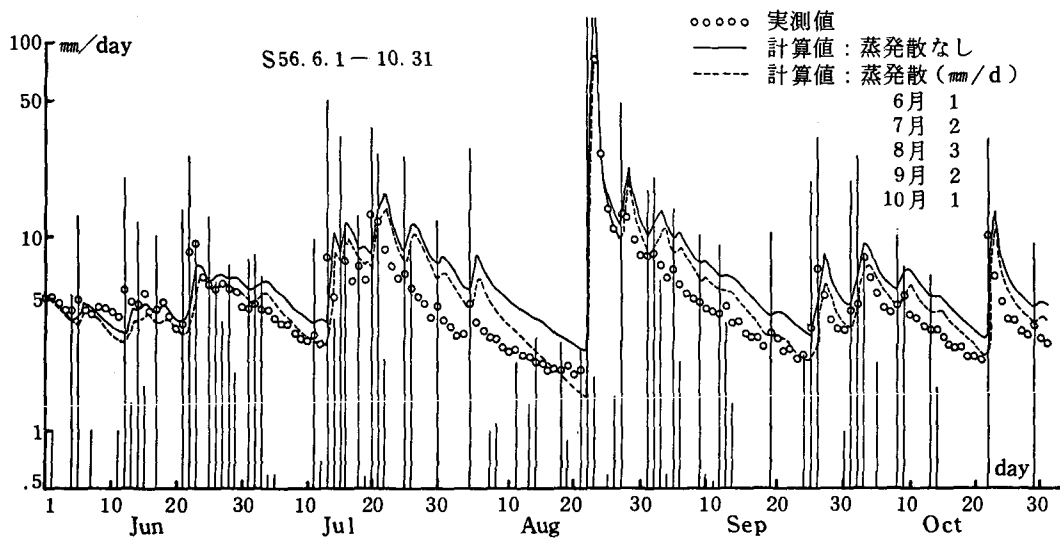


図-5 低水流出解析例(川俣ダム流域)

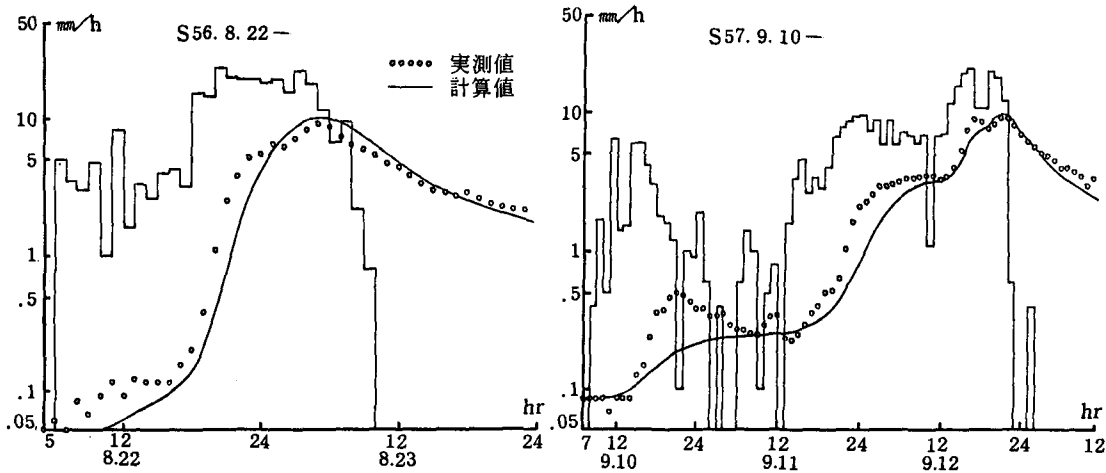


図-6 洪水流出解析例(二瀬ダム流域)

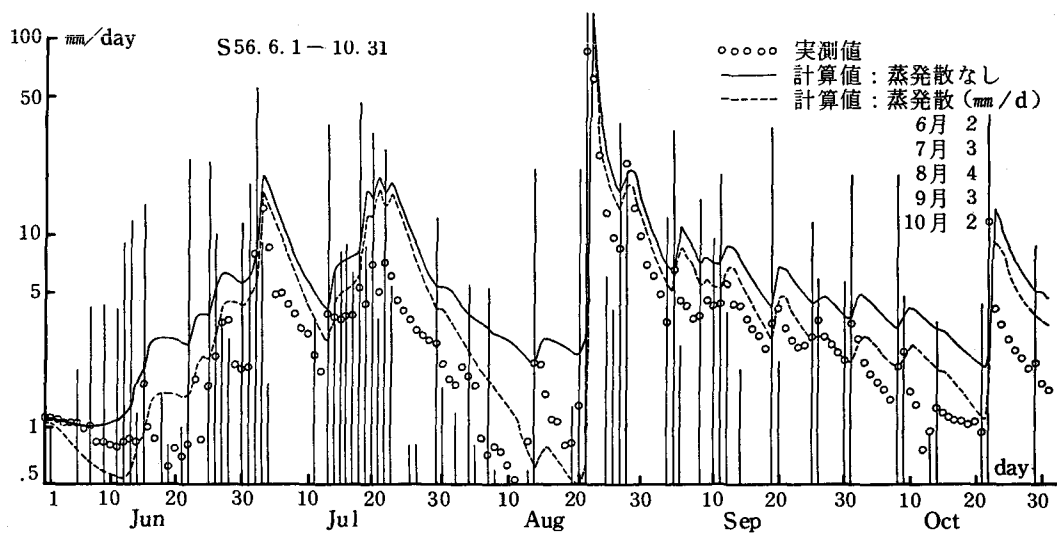


図-7 低水流解析例(二瀬ダム流域)

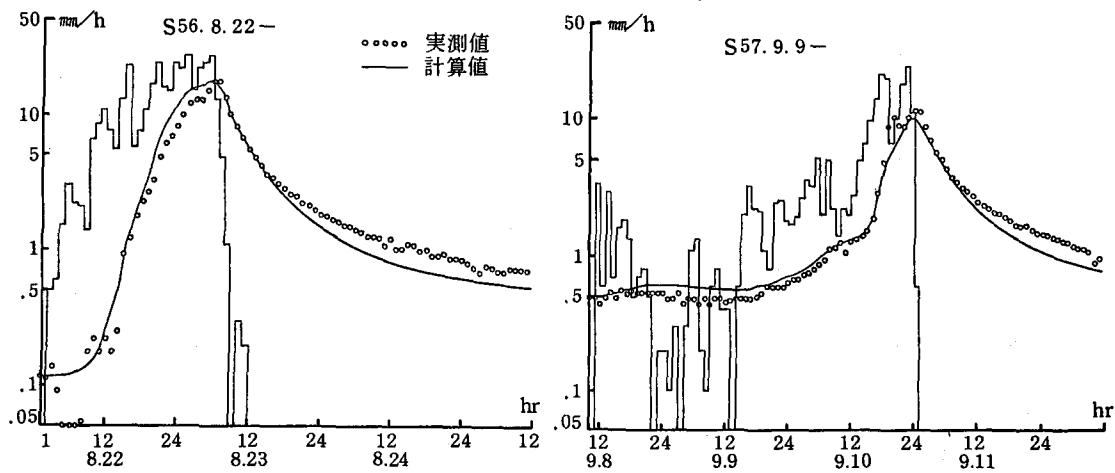


図-8 洪水流出解析例(草木ダム流域)

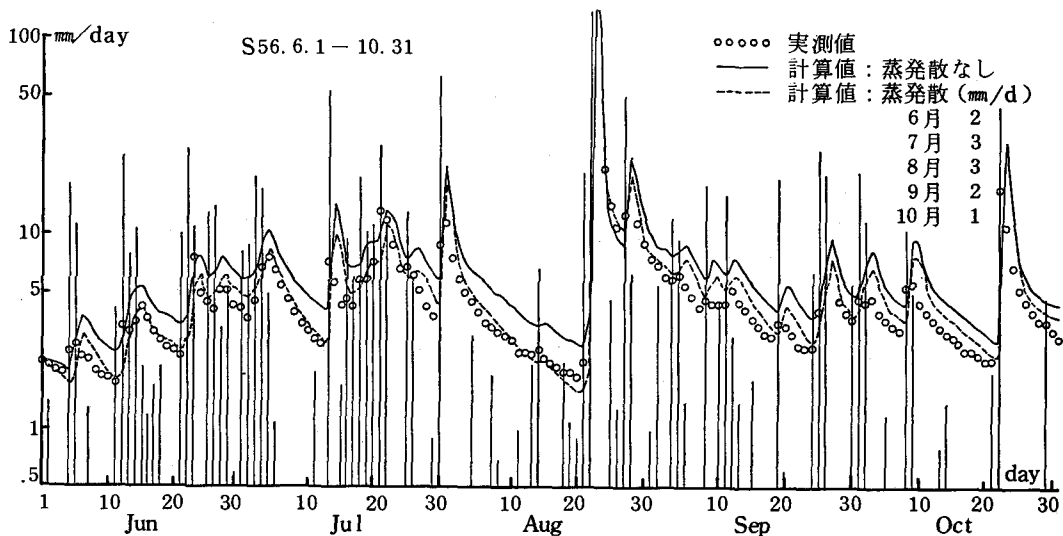


図-9 低水流解析例(草木ダム流域)

以上の図のごとく、各流域の洪水流出解析結果、また洪水流出解析で決定されたパラメータ値の日単位変換値を用いた低水流出計算結果においては、実測値と計算値との良好な適合性が見られる。なお低水流出計算における各月ごとの見込み蒸発散量は実際の値であろうと思われるが、今後は適切な蒸発散量推定方法によって決定する必要があるだろう。

表-1から、モデルのパラメータと流域個有の特性値との関連性について考察してみると、まず貯留部の下流への流出に関するパラメータ k , m は、現段階では十分な比較検討ができないが、 k については、流域面積の大小との関連づけが可能であり、また m については、各流域とも $m=3$ となることから、貯留部の流出口形状すなわち河道横断形状が、 $3/2$ 次曲線で表わされていることを意味している。

次に遊水部の流出に関するパラメータ a , β については次のようなことが考察される。

(1) 貯留部と遊水部との間の流出入の難易を表現している a 値は、表層地質と平均谷密度との関連性で捉えることができそうである。すなわち、表層地質が類似した五十里、川俣、草木の各ダム上流域では、平均谷密度が大なる程 a 値が小さくなっている。このことは、谷密度が大きいことは地域的に浸透性が劣り、直接流出量が大いことに符号している³⁾、ということに対応している。

(2) 流域の貯留部と遊水部との占める割合を表現している β 値は、平均傾斜が大きいほどその値が大きくなるという関係がある。このことは、平均傾斜の急な流域部分では相対的に直接流出量が大きく、急傾斜面では浸透性が相対的に低いことに符号する³⁾、ということに対応している。

5. おわりに

遊水モデルを山地流域である4多目的ダム上流域に適用し、洪水流出解析および低水流出計算を行なった結果、実測値と計算値との良好な適合性を見出すことができ、さらに、各流域ごとに同一なパラメータ値を設定できることから、モデルの洪水・低水流出解析法としての有用性が推量できた。またモデルのパラメータを2段とも同一値とした基本式から導出された連立微分方程式を各段ごとに Runge-Kutta 法を用いて簡便かつ迅速な計算が可能であることからモデルの実用性も見い出された。

各流域ごとに決定されたパラメータ値と流域個有の特性値との関連性についての考察から若干の知見を得たが、こうした関連性を十分に把握し、一層の有用かつ実用性のある流出解析法としてのモデルを確立していくには、さらに多くの流域での解析が必要となろう。このことは今後の課題としたい。

最後に、貴重な資料の収集および提供して下さった建設省利根川ダム統合管理事務所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 山本好克・丸井信雄：遊水モデルにおける流出機構に関する一考察，第30回水理講演会論文集 PP. 133～138，1986
- 2) 土地分類調査研究会：日本の自然と土地利用 Ⅲ 関東，全国国土調査協会，1979
- 3) 中野秀章：森林水文学，共立出版，P. 210，1977