

補遺 7

総合貯留関数式の再検討

補遺 7 総合貯留関数式の再検討

総合貯留関数法は流量資料の乏しい山地河川流域におけるハイドログラフ推定、あるいはまた、大流域においては分割支流流域からの流出量を河道要素で合成・伝播させてハイドログラフ推定を行えるなど、幅広い実用面での運用が考えられる。本報告でも以上の観点から表-5に示されるような貯留関数モデルの総合化を試みた。しかしながら、解析対象となった流域面積の大きさが 100 km^2 以下であること、また、図-10に示すように、洪水規模で見れば、ピーク比流量 $2\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 以下の洪水例が86%を占めるなど、(7)式(表-5参照)の適用範囲に幾分問題が残されている。(20)式あるいは(7)式(表-5参照)に示されるように、パラメータ k_2 はパラメータ k_1 と平均有効雨量強度 \bar{r} の関数で与えられるから、パラメータ k_1 の推定精度が総合貯留関数モデル適用の成否に関連してくる。

永井らは(参考文献6))は本報告と同様に、(1)、(2)式の等価粗度モデルを基本式として、木村の貯留関数法モデルパラメータの物理的意味づけを行っている。永井らの研究成果と本報告での結果には共通する部分が多い。幸い、永井氏より貴重な解析結果の送付とその利用の快諾をいただいたので、両解析結果を併せて、(7)式の妥当性を再検討する。

永井らの研究成果の一部を要約して以下に示す。

(1) 等価粗度モデルと木村の貯留関数モデルのパラメータ相互には次式が成立している。

$$K = 2.531(n/\sqrt{i})^{0.6}A^{0.24} \quad (A-1)$$

ここで、 K :貯留係数 (mm-hr 単位), n :等価粗度 (m-s 単位), i :斜面勾配, A :流域面積 (km^2)

一方、本報告でのモデルパラメータ k_1 は次式で与えられる。

$$k_1 = 2.823(n/\sqrt{i})^{0.6}A^{0.24} \quad (A-2)$$

両式の係数値がわずかに異なる理由は容易に説明できる。すなわち、図-5に示される流域モデルを想定し、(23)式の流域定数 $\varepsilon, \beta, \gamma$ として、 $\beta = 1.35, \gamma = 0.6$ は(24)式で両解析手法とも共通である。唯一の違いは ε の値である。(A-1)式は(24)式で $\varepsilon = 0.5$ (主河道をはさみ等斜面を想定)、(A-2)式は(24)式で $\varepsilon = 0.6$ としている違いだけである。したがって、実用上、どちらの式を用いても大きな差異は生じないと考えられる。図-19には一次元探索 $f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6}$ の最適値と二次元探索 k_1 の最適値の関係および(A-2)式の関係式が併記されているが、(A-1)式を用いてもプロットされた点の挙動はよく説明できることは容易に予想できよう。

(2) 北海道においては大洪水を収集することは困難であるが、永井らの解析では大洪水例が選定されている。流域数は17個であり、最小・最大流域面積はそれぞれ、 0.245 km^2 と 1425.6 km^2 である。選定洪水例は51個であり、最小・最大ピーク比流量はそれぞれ、 $2.6\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 、 $14.1\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ と、本報告で扱った洪水規模とは大きな差異がある。なお、 600 km^2 以上の河川流域においては降雨の空間分布特性を考慮して、ピーク比流量 Q_p が $4\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 以上、他の河川流域では Q_p が $2.6\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 以上の出水例を選定するように配慮されている。これら51個の出水例に木村の貯留関数モデルをあてはめ、貯留係数 K と遅滞時間 T_t の最適同定を行っている。なお、貯留指数 P はマニング型表面流を想定して、 $P = 0.6$ に固定している。 $P = 0.6$ は本報告でのモデルパラメータ $p_1 = 0.6$ と同じ物理的意味を持っている。最適同定された貯留係数 K と流域面積 A の関係プロットし、それに平分線を挿入して得られた総合化貯留係数式が次式である。

$$K = 5.5A^{0.14} \quad (A-3)$$

(A-3)式は流域面積 $A < 300\text{ km}^2$ の山地河川流域について最適同定された結果を重視して決定された関係式である。一方、本報告における(A-2)式の総合化貯留係数式は表-5中に示される次式である。

$$k_1 = 4.57 A^{0.24}$$

(A-4)

(A-4) 式は $f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6}$ の一次元探索最適同定値を 99 洪水例から算定し、その平均値 1.62 を (A-2) 式に代入して求めたもので、流域面積 A の指数は 0.24 に固定してある。本報告においても、パラメータ k_1 と k_2 の二次元探索最適同定を行っている。最適同定値 k_1 を (A-2) 式に代入して $f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6}$ を求め、一次元探索同定値 f_c と比較した結果が図-20 である。すなわち、両パラメータ同定法による推定精度は同程度であると考えてもよいことがわかる。そこで、永井らの解析結果と本報告での結果の整合性を図る意味で、永井らによって得られた最適貯留係数同定値 K を (A-2) 式に代入して $f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6}$ を逆算し、その標本統計量を計算してみると、平均値は 1.41、分散は 0.287 となる。本報告での 99 洪水例の一次元探索結果による f_c の平均値は 1.62 で、分散は 0.493 である。永井らの解析データの方が、 f_c の平均値が幾分小さく、変動が小さくなっている。両者の結果の差異は選定洪水規模に依存していることが考えられるが、 f_c の平均値でみるかぎり、大きな差異はない。

永井氏より貴重な研究成果を提供していただいたので、本報告での計算結果と併せて、総合貯留関数モデルを再検討してみる。なお、小流域における洪水例のほかに、今回あらたに 3 河川流域における 19 洪水例を解析に追加してある。その内訳は、十勝ダム (流域面積 $A = 592 \text{ km}^2$) の 5 洪水、沙流川流域 ($A = 1253 \text{ km}^2$) の 9 洪水、額平川流域 ($A = 365.8 \text{ km}^2$) の 5 洪水資料である。洪水規模は全追加資料ともピーク比流量 $Q_p > 0.5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ である。したがって、永井らのデータと合せると、流域数では 57 個、洪水資料数では 169 個となり、貯留係数 (K あるいは k_1) の総合化推定式としては実用上かなり普遍性があることが期待される。

永井らが解析した 51 洪水例の最適 K 値と本解析での 118 洪水例の最適 k_1 値から (A-2) 式によって逆算した $f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6}$ の頻度分布解析結果が表-7.1 である。したがって、 f_c の標本平均値 (μ) と分散 (σ^2) はそれぞれ、 $\mu = 1.564$ $\sigma^2 = 0.430$ と計算される。この標本統計量を用いて、(7)式の 2 母数ガンマ分布の母数を積率法により推定すると、 $a = 0.275$ 、 $b = 5.689$ 、 $\Gamma(5.689) = 71.224$ を得る。したがって、(7)式による理論度数を計算したものが表-7.1 の最後列に示されている。169 洪水例の逆算 f_c の頻度分布と理論値を比較して、図-7.1 に示す。今、表-7.1 の結果に基づき、 f_c の平均値 $\mu = 1.564$ 、 $\mu - \sigma = 0.908$ 、および $\mu + \sigma = 2.20$ の値を (A-2) 式に代入すると次の推定式が得られる。

表-7.1 逆算 $f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6}$ の頻度解析

f_c のランク	中央値 x	度数 f	fx	fx^2	理論度数
0 ~ 0.5	0.25	1	0.25	0.0625	1.1
0.5 ~ 1.0	0.75	27	20.25	15.1875	31.3
1.0 ~ 1.5	1.25	64	80.00	100.0000	55.6
1.5 ~ 2.0	1.75	44	77.00	134.7500	43.7
2.0 ~ 2.5	2.25	18	40.50	91.1250	23.1
2.5 ~ 3.0	2.75	8	22.00	60.5000	9.7
3.0 ~ 3.5	3.25	4	13.00	42.2500	3.4
3.5 ~ 4.0	3.75	3	11.25	42.1875	1.1
合計		169	264.25	486.0625	169.0
平均			1.564	2.876	

$$K, k_1 = \begin{cases} 2.56 A^{0.24} & (\mu - \sigma) \\ 4.42 A^{0.24} & (\mu) \\ 6.27 A^{0.24} & (\mu + \sigma) \end{cases} \quad (A-5)$$

(A-5) 式は永井らと本報告でのデータを統合して用いたときの貯留係数 K あるいは k_1 の総合化推定式である。図-7・2 は全資料 169 洪水例を用いたときの最適同定値 K と k_1 を流域面積 A に関してプロットしたものである。図中には (A-5) 式も併示してある。他のモデルパラメータ k_2 に関しては、パラメータ k_1 が既知となれば、(20)式により推定が容易に行える。

最後に、本報告での総合貯留関数法を再検討するにあたって、貴重な研究成果の資料を心快く提供下さった岡山大学農学部 永井明博助教授に感謝の意を表するとともに、解析結果の利用を快諾された京都大学防災研究所 角屋 睦教授と筑波大学農林工学系 杉山博信氏にも深謝致します。

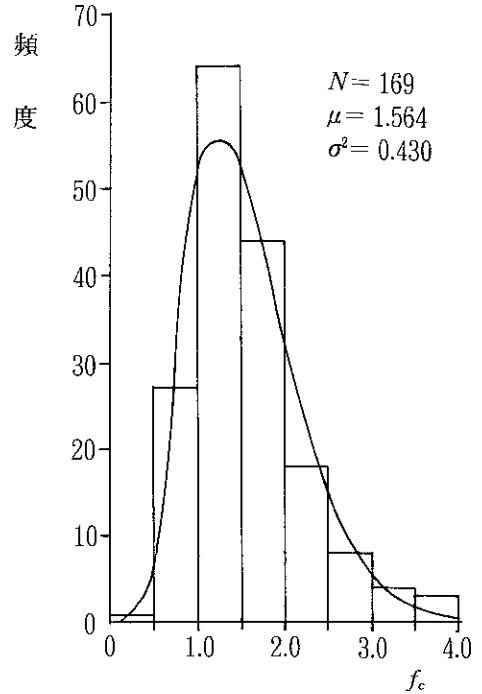


図-7・1 f_c の頻度分布

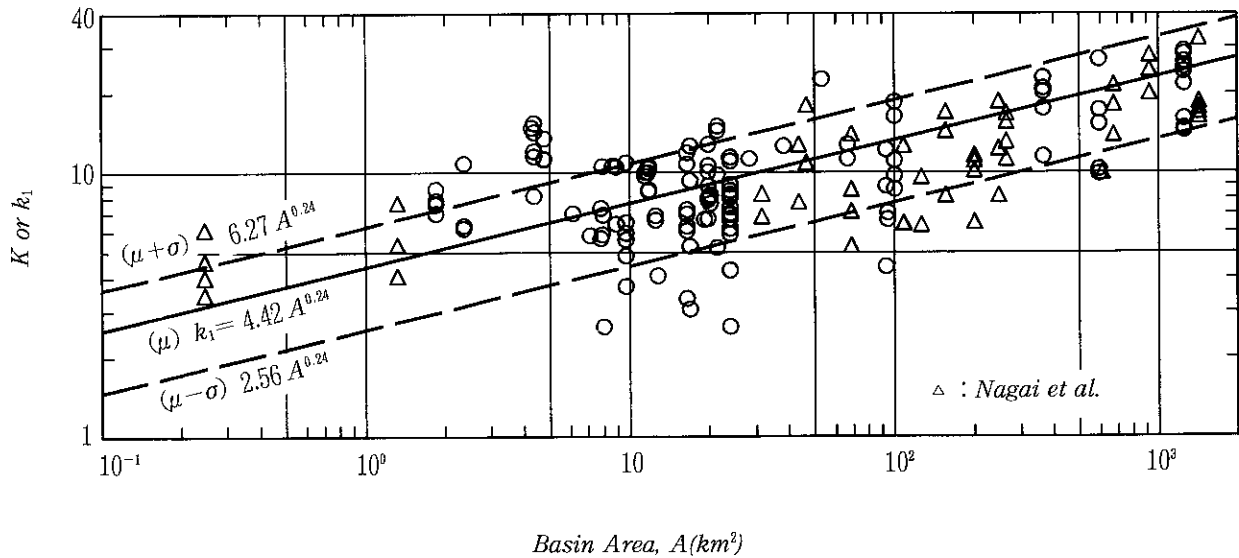


図-7・2 貯留係数と流域面積の関係