

平均年最大流量と流域スケール

Mean annual flood and scale of catchment

葛葉泰久¹・友杉邦雄²・Murugesu Sivapalan³・岸井徳雄¹・早野美智子⁴
Yasuhisa KUZUHA, Kunio TOMOSUGI, Murugesu SIVAPALAN, Tokuo KISHII
and Michiko HAYANO

¹正会員 博士(工学) 防災科学技術研究所(〒305-0006 つくば市天王台3-1)

²正会員 博士(工学) 京都大学防災研究所(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

³非会員 Ph.D. University of Western Australia, Nedlands, Australia

⁴正会員 博士(学術) 防災科学技術研究所(〒305-0006 つくば市天王台3-1)

Recently, a lot of researchers have been interested in 'scale issues' in the research area of hydrology. 'Scale issues' include various questions to be solved, including lots of issues regarding runoff process. For example, the relationships between some hydrological processes which control runoff process and catchment scale have been studied. Recently, some researchers have tried to clarify the runoff system using mean annual flood (MAF) per unit area and coefficient of variation (CV) of annual flood.

In this study, analysis of runoff process by CV and MAF was carried out. First, CV/MAF versus catchment area were plotted for 285 catchments in Japan. Secondly, Eagleson's method was used in order to calculate MAF and CV. The aim of this study is to develop model for numerical analysis of runoff, which will be combined to analysis by the data of 285 catchments. The model used in this study could estimate MAF qualitatively, but further consideration is necessary in regard to CV.

Key Words: *Coefficient of variation, Mean annual flood, Scale issues, Runoff, Catchment scale, Comparative hydrology*

1. 序論

スケール問題的な視点で流出現象の解析を行う手法の一つとして、「年最大流量の平均値」(Mean annual flood; 以下, MAFと称す)や「単位面積あたりのMAF」(Specific MAF; 以下, SMAFと称す)と流域面積の関係、あるいは「年最大流量の変動係数」(以下, CVと称す)と流域面積をもとにする方法がある^{1),2)}。著者らはA/P FRIEND³⁾における比較水文学的研究の一環として、SMAFやCVを使った流出過程の解析を行い、日本、Australia、アジア各国における流出過程の比較をすることによって、流出過程の基礎的理解に資する知見を得るとともに、国・地域間での流出機構の共通点・相違点を明らかにしようとしている。現段階では日本における流出データを用いて実際の流域でのSMAF等を求める⁴⁾とともに、「数値計算的にSMAF等を求めるためのモデル」の構築を目的とした研究を行っている。著者らはこのようなモデルの必要性を、以下のように考える。すなわち、1) 実流域でのSMAF等の傾向から流域の降雨-流出過程に関わる現象解明を試みる際、現象に関わる

種々のパラメータを変化させる、いわゆる「モデルによる感度分析的な数値実験」の結果は有益な知見となる。2) 「数値モデルで実流域でのSMAF, CV等の挙動を再現できるか否か」という検討、それに伴うモデルの改良を通して、「降雨-流出過程」をより深く理解できる、である。

すでにBlöschl and Sivapalan¹⁾がCV, SMAFと流域面積の関係に与える線形・非線形の様々な要因、換言すれば種々の水文過程におけるパラメータの影響を調べている。そこでは降雨の継続時間、強度、また流域の非線形的な応答等による影響等が独自のモデルを用いて調べられているが、著者らは、Eagleson⁵⁾の手法を用いることが研究目的から考えて適当であると考えた。その理由は、現象が(経験式が少なく)解析的に取り扱われているため、ここまで述べたような検討を「より現象の本質を見ながら」進められると考えたからである。

本稿では、上記の手法によりSMAF, CVを求め、数値モデルの妥当性と問題点、今後の課題について検討した結果を報告する。

2. SMAF, CVと流域面積

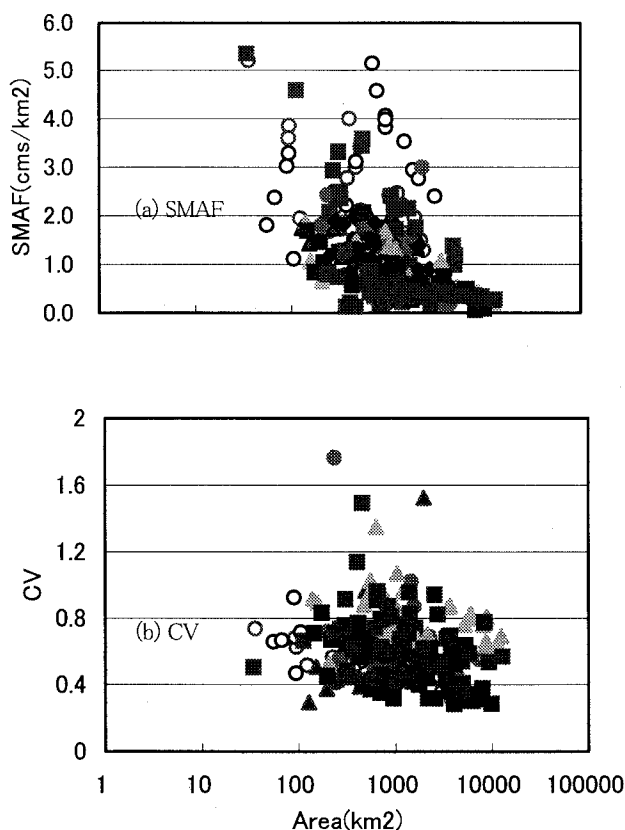


図-1 日本の流域での SMAF と CV

図-1は、日本の流域について、(a)SMAF と流域面積、(b)CV と流域面積の関係をプロットしたものである⁴⁾。ただし、データは流量年表に依り、20 年以上のデータが使える流域(285 流域)のみを対象とした。図-1 (a)SMAF が Austria のデータを用いた結果より全体的に大きい、両図とも傾向は Blöschl and Sivapalan¹⁾ とほぼ同様である。“CV は流域面積 100km² あたりでピークを持つ”という研究結果²⁾もあり、その理由づけもなされてきたが、Blöschl and Sivapalan¹⁾ では否定されている。すなわち、“水文レジーム”なる概念を導入し、流域をいくつかのレジームに分け(すなわち水文学的に類似と考えられるいくつかの流域に分け)、それぞれのレジームについての“CV-流域面積”関係を重ね合わせて結果的に得られる関係が図-1のような“CV-流域面積”関係であり、異なるレジームに属す流域のデータを包括的に扱って論じてその特性はわかりにくいという考え方による。著者らは日本の流域をいくつかのレジームに分類することも試みてはいるが、それ自体が研究要素を含むので、完結はしていない。ただし、いくつかの分類分けはできているので、それらの例を示す⁴⁾。図-2では、北海道・東北地方の流域のうち、春期に流出量が多い流域を対象としている。これらの流域を「水文学的に類似な流域」すなわち「同じレジームに属す」と考えた。これらの流域では「融雪による流出が卓越している」と考えられる。SMAF は明らかに右下がりの曲線上にのっている。特に東北地方の流域で

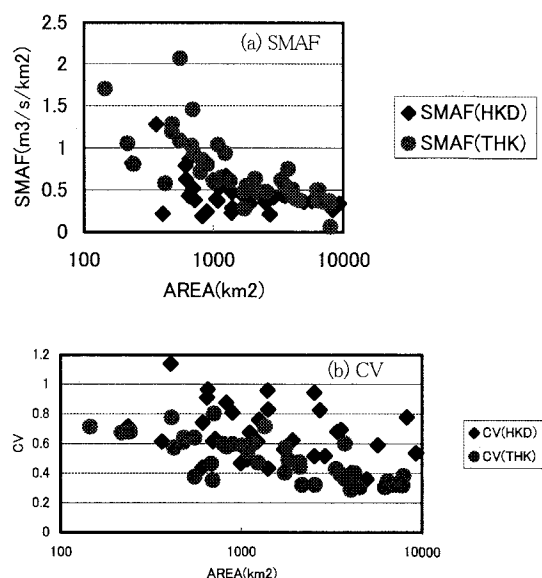


図-2 融雪流出が多い流域での(a)SMAF と(b)CV
HKDは北海道, THK は東北

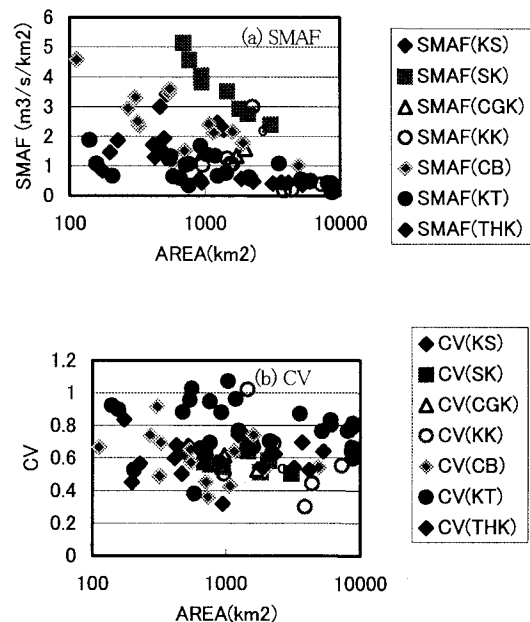


図-3 8,9 月の流出が多い流域での(a)SMAF と(b)CV
KS:九州, SK:四国 など、地方別に表示

その傾向が著しい。また、CV に関しても、SMAF ほどはっきりはしていないが、右下がりの曲線を描いていることがわかる。また、図-3(a) は全国の流域のうち、8 月または 9 月に月流出量が最大になる流域だけを選んで(それらを同一レジームに属すと仮定して) SMAF と流域面積の関係を示したものである。「地方」別に見ると、これも右下がりの傾向を示していることは明らかであるが、地方ごとの曲線形状の相違が何であるかを理解するために、数値モデルによる検討が有益と考える。

3. 降雨-流出モデル

前述の通り、数値シミュレーションで SMAF, CV を

求めるために、Eagleson⁵⁾の手法を用いた。この手法では、イベントごとのピーク流量の分布関数を求め、年最大流量、すなわち「イベントごとのピーク流量の極値」が Gumbel 分布に従うという仮定の下、その平均値すなわち MAF を再現期間との関係を用いて求める。以下、この手法を 3 つのサブモデル、すなわち 1) 降雨モデル、2) 流出モデル、3) 極値分布モデルに分けて概説する。各式導出の詳細については文献 5) を参照されたい。なお、ここ以降、特に断らない場合、すべて単位系は(metre-sec 系)を用いている。

(1) 降雨モデル

降雨継続時間 (t_r)、降雨強度(i_0)の確率密度関数をそれぞれ式(1)、(2)で表す。

$$f(t_r) = \lambda e^{-\lambda t_r} \quad (1)$$

$$f(i_0) = \beta e^{-\beta i_0} \quad (2)$$

$t_r = t_r$ のときの i_0 の条件付確率、即ち $f(i_0 | t_r)$ は一つのイベントでの降雨量($d = t_r i_0$)が大きいときには次式(3)で表される。

$$f(i_0 | t_r) = \beta e^{-\beta i_0} = f(i_0) \quad (3)$$

また、ポイント観測による d と、直接流出の寄与域(面積 A_r)での d_{Ar} との間には式(4)のような関係があるとする。

$$\begin{aligned} d_{Ar} / d &= 1 - \exp(-1.1 \zeta^{-1/4}) \\ &+ \exp(-1.1 \zeta^{-1/4} - 0.01 A_r^*) = K \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $\zeta = 3600 \lambda$, $A_r^* = A_r / (1609^2)$ である。

以上より、降雨強度が i_0 の時の「寄与域(面積 A_r)での平均降雨強度」 i_{0*} は次式(5)の確率密度関数に従うことになる。

$$f(i_{0*}) = f(i_0 | A_r) = \frac{\beta}{K} e^{-\beta i_{0*} / K} \quad (5)$$

次に、寄与域での損失率を流域で一定と仮定するなら、平均有効降雨 i_{e*} は次式(6)の分布に従うことになる。なお、式(6)の t_{re} は「有効降雨の継続時間」であるが、この確率構造は t_r のものと同一であることが導出されている。

$$f(i_{e*}, t_{re}) = (\beta \lambda / K) \exp\{-\lambda t_{re} - (\beta i_{e*} / K)\} \quad (6)$$

(2) 流出モデル

流出モデルは、kinematic wave 法を用いる。ここでは「対称 2 斜面-1 河道」の流域を考える。斜面系、河道系の kinematic wave 式は、以下の式(7)、(8)で表される。

$$dq / dt = i_{e*} c_c, \quad dy / dt = i_{e*}$$

$$dq / dx_c = i_{e*}, \quad dy / dx_c = i_{e*} / c_c$$

$$q = \alpha_c y^{m_c}$$

$$dx_c / dt = \alpha_c m_c y^{m_c-1} \quad (\text{特性曲線}) \quad (7)$$

$$dQ_s / dt = 2qc_c, \quad dA_s / dt = 2q$$

$$dQ_s / dx_s = 2q, \quad dA_s / dx_s = 2q / c_s$$

$$Q_s = \alpha_s A_s^{m_s}$$

$$dx_s / dt = \alpha_s m_s A_s^{m_s-1} \quad (\text{特性曲線}) \quad (8)$$

ここで、 q , Q はそれぞれ斜面、河道の流出量、 t は時間軸、 x は流れ方向の座標軸、 y は斜面流の水深、 A は河道流の断面積、 α , m は斜面・河道流に関するパラメータであり、添え字 c は斜面流、 s は河道流に関するものであることを示している。なお、以下、 $m_c = 2$, $m_s = 3/2$ として計算を進める。ここでは有効降雨継続時間(t_{re})中の領域平均有効降雨(i_{e*})を一定としているが、 t_{re} と t^* の関係において、 $[t_{re} \geq t^*]$ の場合には、そのイベントでの流路下端の最大流量 Q_{max} が式(9)で表せることは容易に求まる。ただしここで、 t^* は斜面と河道をあわせた場合の集中時間である。

$$Q_{max} = A_r i_{e*} \quad (9)$$

しかし、 Q_{max} の確率構造を求めるためには、 $[t_{re} \geq t^*]$ でない(降雨継続時間が集中時間よりも短い)場合も考慮する必要があり、文献 5) ではそれらの場合についても考慮されている。 $[t_{re} \geq t^*]$ でない場合を考慮することにより、 Q_{max} を求める手続き、その結果として分布関数 $F(Q_{max})$ の導出がかなり複雑になるが、いくつかの近似式を使うことにより、超過確率分布関数は以下のように求めることができる。ただし、ここで Q_p は直接流出の寄与分 Q_{max} に、基底流出分 Q_b を加えたものである。すなわち、 $Q_{max} = Q_p - Q_b$ である。 $F(Q_p)$ は、

$$F(Q_p) = I_0^* \int_0^{A_r} \exp\left[-\frac{\beta(Q_p - Q_b)}{KA_r}\right] \cdot f(A_r) dA_r \quad (10)$$

である。ここで、 I_0^* は A_r , Q_p , Q_b 等の関数であるが、具体的な関数形については記述を省略する。さて、式(10)を積分すると、式(12)が得られる。ただし、実際には A_r は時空間的に変化する変数であるが、ここでは Eagleson と同じく、

$$f(A_r) = \frac{2}{A_c} \left(1 - \frac{A_r}{A_c}\right) \quad (11)$$

を用いることとする。結果的に、 Q_p の超過確率分布関数は、式(12)のように求めることができる。

$$\begin{aligned} F(Q_p) &= I_0^* \left\{ \frac{(A_c - k)}{A_c} \exp\left(\frac{k}{A_c}\right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{k(2A_c - k)}{A_c^2} \Gamma\left(0, -\frac{k}{A_c}\right) \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

ただし、 $k = \frac{-\beta(Q_p - Q_b)}{K}$ である。ここで、

$$\Gamma(a, z) = \int_z^\infty t^{a-1} e^{-t} dt \quad (13)$$

である。

(3) 極値分布モデル

最大流量の超過確率分布関数は、前節の式(12)のように表されるが、年最大流量が Gumbel 分布に従うと仮定すると、その平均値である MAF は、再現期間 $T_E=1.78$ 年($T_M=2.33$ 年)をもつ極値と考えられる⁷⁾。ここに、 T_M , T_E はそれぞれ、Chow⁷⁾による *annual maximum series*, *annual exceedence series* に対する再現期間(年)である。いま、 n を毎年の直接流出となる有効降雨を生ずるイベントの発生回数の平均値とすると、

$$T_E^{-1} = nF(Q_p) \quad (14)$$

が導かれるので、 $T_E=1.78$ を式(14)を代入することにより、平均値(=MAF)が求められる。さらに、Gumbel 分布のパラメータ u , α , 標準偏差 s , T_M の間には

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \quad (15)$$

$$y_T = -\ln\left[\ln\left(\frac{T_M}{T_M - 1}\right)\right] \quad (16)$$

$$x_T = u + \alpha y_T \quad (17)$$

なる関係があるので、再現期間として適当な 2 つの値選ぶと、式(14)から「それぞれの再現期間に対する極値」が求まる。つぎにそれらの値を式(15),(16),(17)に代入する($x_T = Q_p$ である)ことにより、 s が求まる。CV は、定義通り、(標準偏差)/(平均値)で求められる。

4. 結果と考察

まず、Eagleson^{5),6)}が使用した米国 Connecticut River 流域に適用するパラメータと同様のパラメータを使用した計算を *control run* として行った。つぎに、いくつかのパラメータを変えて計算を行い、感度分析を行った。*control run* におけるパラメータ、その他の計算におけるパラメータは表-1のとおりである。

(1) SMAF

図-4は、表-1に示したケースについて、SMAF の計算結果を示したものである。ただし、横軸は対数軸を用いている。各曲線は、「流域面積が増加すると、SMAF が減少する」という傾向を示している。図-2でもその傾向は明らかであり、図-3においても、各地方ごとのデータに注目すれば、その傾向が見られる。ここで、モデルを介してその理由について考察してみる。

本研究で用いたモデルは前述の式(12)で表される確率分布関数を用いたものである。ただし、この式の導出過程にはいくつかの近似が用いられており、またその「近似を用いた」所以たる式形の複雑さ故、解析的な扱いは困難である。そこで、今まで述べたモデルを簡

表-1	主なパラメータ。No.1 (<i>control run</i>) 以外は、No.1 と異なるもののみ記述してある。単位は全て m-sec 系			
No.1	$\beta=4251969$	$\lambda=0.0000361$	$P=1.1176$	$\phi_1=0.47$
	$\phi_2=0.58$	$\alpha_c=10.0$	$\alpha_s=0.1$	
No.2,3,4	それぞれ α_s が No.1 の $2^{1/2}$, $5^{1/2}$, $10^{1/2}$ 倍			
No.5,6,7,8	それぞれ ϕ_2 が 0.5, 0.4, 0.3, 0.2			
No.9	λ が No.1 の 0.5 倍, β が 2 倍			
No.10	λ が No.1 の 2 倍, β が 0.5 倍			

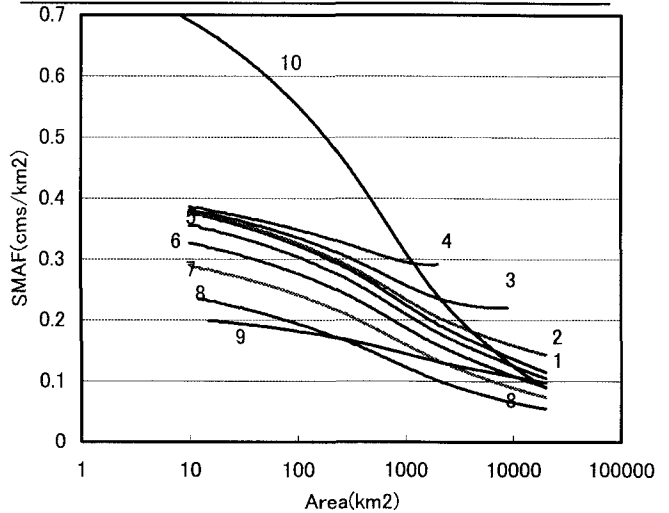


図-4 SMAF の計算値

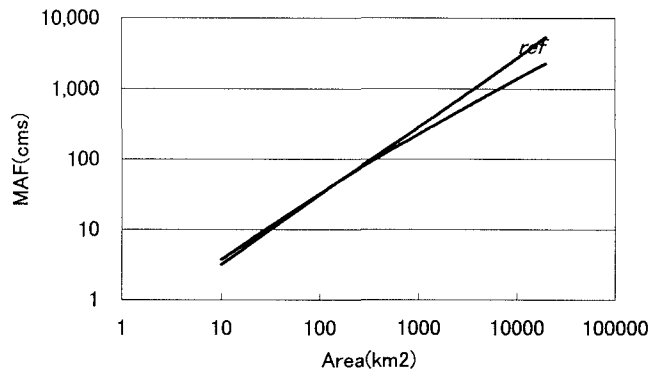


図-5 二つのモデルによる MAF の比較: ref と表示されているのが「簡易モデル」による計算結果。

略化した「簡易モデル」を導入することとする。すなわち、式(10)~(12)を導出する際に、前述のように $[t_{re} \geq t^*]$ なる条件を仮定すれば、ピーク流量は式(9)で求められ、式(12)は Q_p に関して陽に次式(18)のように表される⁶⁾。以下、式(12)によるモデルを「詳細モデル」、式(18)を式(12)の替わりに用いたモデルを「簡易モデル」と称することとする。

$$Q_p = \frac{A_c K}{3\beta} \ln(T_E n) + Q_b \quad (18)$$

さて、図-5には、「詳細モデル」を用い、*control run* として行った計算で得られた MAF と、「簡易モデル」による MAF (図中、ref と表示)をプロットした。この図より、流域面積が 1000km^2 以下の場合には、「簡易モデル」が「詳細モデル」による結果を充分近似していることが

わかる。よって、ここでは、解析的に用いることが容易な式(18)を代替式として用いることとする。

式(18)のうち、 Q_b は基底流量を表す項であるが、これは次式(19)のように表される^{5,6)}式(10)における Q_b も同様である)。

$$Q_b = (1 - \phi_2) \phi_1 P A_c = B A_c \quad (19)$$

ここに、 P は年降水量、 ϕ_1 は流出率、 ϕ_2 は(直接流出量)/(総流出量)の平均値、 A_c は流域面積である。これらの値は、それぞれのケースで計算条件として与えられるものであり、一つのケースでは同じ値を使用するので、式(19)中に示したように、定数 B を用いて表示できる。式(18),(19)から、「簡易モデル」による SMAF は、

$$SMAF = \frac{MAF}{A_c} = \frac{K}{3\beta} \ln(1.79n) + B \quad (20)$$

と変形できる。いま、図-4等における SMAF の曲線形状を論じようとしているが、式(20)の最右辺のうち、 K 以外は正の定数であり、かつ

$$\frac{dK}{dA_c} = - \left\{ \frac{0.01}{(1609)^2 \cdot 3} \right\} \exp\{-1.1\zeta^{-1/4} - 0.01A_c / (1609^2 \cdot 3)\} \quad (21)$$

は明らかに負値をとる。よって、SMAF が流域面積に対して単調減少であることが導かれる。なお、ここで、「直接流出に寄与する面積」 A_r は時空間的に変化する変数で、本稿では式(11)のような確率密度関数に従うと仮定しているが、 K を求める際には、 $A_r = E[A_r] = A_c/3$ なる関係を用いている。

次に、図-4と図-2, 3を比較すると、実流域でのデータが「下に凸」な曲線形状を示すのに対し、本モデルで計算した結果が「特に流域面積の小さい時に上に凸」な形状を示していることがわかる。そこで、ここでも「簡易モデル」を用いた考察を行う。本研究では、(SMAF・CV) 対 (対数軸で表された流域面積) の曲線形状を比較して流出特性を考えようとしているので、ここでは $d^2(SMAF)/d(\log_{10}A_c)^2$ による検討をしなければ意味がない。

ここでも $A_r = E[A_r] = A_c/3$ を仮定することにより、 $A_r^* = A_r / (1609)^2 = A_c / \{(1609)^2 \cdot 3\}$ が成立するので、式(4) は次式(4)' のように変形できる。

$$K = 1 - \exp(-1.1\zeta^{-1/4}) + \exp\{-1.1\zeta^{-1/4} - 0.01A_c / (1609^2 \cdot 3)\} \quad (4)'$$

ここで、 $A_x = \log_{10} A_c$ とすると、

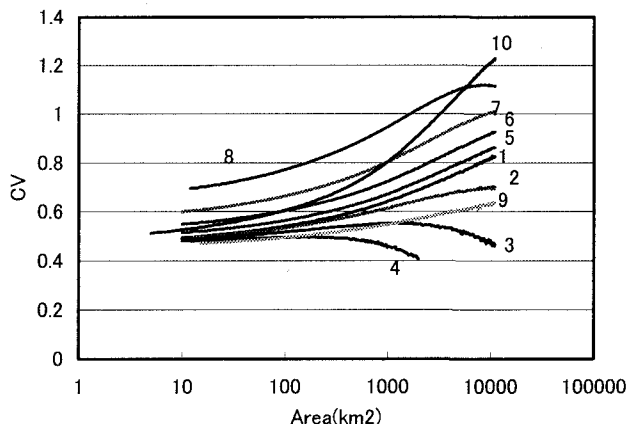


図-6 詳細モデルによるCVの計算値

$$\frac{d^2K}{dA_x^2} = \left\{ \frac{0.01}{3 \cdot (1609)^2} (\ln 10)^2 A_c \exp(-1.1\lambda^{-1/4}) - \frac{0.01}{3 \cdot (1609)^2} A_c \right\} \left(\frac{0.01}{3 \cdot (1609)^2} A_c - 1 \right) \quad (22)$$

となるから、「 A_c が約 777km^2 より小さいときには2階微分が負、すなわち曲線は上に凸、それより大きいときには下に凸になる」という結果が得られる。図-2, 3の実流域のデータを見る限り、以上の結果を否定するものではない、すなわち流域面積が比較的大きいときに曲線の形状が下に凸でかつ単調減少になってはいるが、流域面積 $100 \sim 1000\text{km}^2$ のデータが少ないので、直ちに肯定するものでもない。

つぎに、感度分析の結果(図-4)から、以下のようなことがわかる。ここで、図中の曲線に付してある数字は、表-1中の(数値)実験番号に対応する。

Connecticut River 流域における水文パラメータを使用した control run と比較して、大きく曲線形状が異なっている、すなわち大きな影響を与えたのは降雨の構造を変えたケース(9,10)である。 P (年平均降雨量)を全てのケースで同じとしたため、 $E[t_{re} i_0] = 1/(\beta \lambda)$ は一定である。No.9 のケースでは β が control run の2倍(すなわち平均降雨強度が半分)、No.10 のケースでは control run の半分(平均降雨強度が2倍)となっている。このように降雨の構造が大きく影響を与えるのは、式(9)から明白である。

河道勾配が m 倍になると、kinematic wave 式の α_s が $m^{1/2}$ 倍になるが、 α_s を大きくすると、SMAF が大きくなる。また、 ϕ_2 を小さく(基底流量 Q_b を大きく)すると、SMAF は小さくなる。

本研究では、SMAF-面積曲線の形状による流出特性の解析を目標としているので、条件の違いによる SMAF の大小関係よりも、曲線形状の変化を把握することが大事であると考え、計算の結果、降雨構造を変えることにより、曲線形状が大きく変わる、基底流量(融雪流出を含む)の変化に対しては「形状」はそれほど大きく変わらないこと、 α_s の変化は、基底流量よりは

「形状」を変える作用があることなどが示唆されている。図-3の地方別の曲線形状の相違は、今までの結果から考えて(シミュレーションの結果だけから考えると)、降雨の構造、 α_s に関係するパラメータの違いなどが理由として考えられる。

(2) CV

図-6は、「詳細モデル」を用いて計算で求めた CV と流域面積の関係をプロットした図である。本稿ではモデル計算する際に Connecticut River 流域のパラメータをそのまま用い、定性的な比較を介してモデルの妥当性を検討しようとしているため、図-1, 2, 3と比較してモデルの妥当性を直ちに論ずることはできないと考えるが、ここではモデル計算による CV 曲線の性状について考察してみる。

図-2, 3の CV 曲線は、流域面積が大きくなるに従って若干減少する傾向にある。しかし、計算値(図-6)では流域面積が $1000\text{km}^2 \sim 10000\text{km}^2$ 以上になるまでは、CV は増加する。ここでも、前節と同じく「簡易モデル」を用いて解析的に検討する。

MAF が Gumbel 分布に従うと仮定し、(本モデルでは)その分散 s を、以下のように求めている(参照:式(15),(16),(17),(18),(19))。すなわち、適当な再現期間 T_{E1} , T_{E2} に対応する y_T の値を y_{T1} , y_{T2} とし、同じく対応する x_T の値を x_{T1} , x_{T2} とすると、

$$s = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \frac{(x_{T1} - x_{T2})}{(y_{T1} - y_{T2})} \quad (23)$$

T_{E*} を MAF に対応する再現期間とすると、定義に従い、CV は次式で求められる。

$$CV = \frac{s}{MAF} = \frac{\pi}{\sqrt{6}(y_{T1} - y_{T2})} \times \left[\frac{A_c K}{3\beta} \{ \ln(T_{E1}n) - \ln(T_{E2}n) \} \right] / \left\{ \frac{A_c K}{3\beta} (T_{E*}n) + BA_c \right\} \quad (24)$$

基底流出が直接流出より充分小さいときには

$$CV = \frac{\pi}{\sqrt{6}(y_{T1} - y_{T2})} \{ \ln(T_{E1}n) - \ln(T_{E2}n) \} / \{ (T_{E*}n) \} \quad (25)$$

となるので、結局、「簡易モデルによる CV」は流域面積に依らず、一定値をとることになる。「詳細モデル」を使用した結果(図-6)を見ると、「簡易モデル」を用いたここでの解析結果と違い、CV は一定値にはなっていないが、これは「詳細モデル(式 12)」では「簡易モデル(式 18)」より現象を丁寧に記述しているためである。ただし、両モデルとも基本的なフレームワークは同一であることから、ここでの解析、すなわち式(23)~(25)による検討をとおして、 K を求める際に、 $A_r = E[A_c] = A_c/3$ を用いていること、ひいては式(11)のような A_r の(時間依存性がない等、かなり簡単な)構造を仮定していること

に対して、検討が必要であることが示唆されていると考える。なお、CV に関する感度分析の結果は、降雨構造の影響が大きいなど、前節での SMAF に関するものと定性的には類似である。

5. 結論

著者らは、SMAF, CV と流域面積の関係をもとに、降雨一流出過程をより深く理解しようとしている。その過程で数値モデルを用いることを考えているが、本稿では「数値モデルで実流域での SMAF, CV 等の挙動を再現できるか否か」に絞った報告を行った。定量的な検討は、日本の対象流域の水文学的パラメータ同定後に行うが、定性的検討の結果、SMAF については本モデルでの再現は可能と考える。しかし CV を求めるためには問題点があると考えられることから、今後は降雨構造の同定、直接流出の寄与域決定法、総じて言えば降雨一流出過程における時・空間変動構造について、実データを用いたさらなる検討を行う必要があると同時に、「この種のモデルで CV の変化傾向が再現できるのか」を解析的に調べる必要があると考える。さらに、貯水池等の人工構造物の影響が大きい流域を扱う場合には何らかの工夫が必要なことは明白である。現段階ではそれらの影響を考慮していないが、モデルに影響を反映させることも課題と考える。

謝辞:本研究を行うにあたり、文部省科研費の補助を受けた。深謝いたします。99 年度土木学会年講において有益なコメントを下された方々にも謝意を表します。

参考文献

- 1) Blöschl, G. and Sivapalan, M.: Process controls on regional flood frequency: Coefficient of variation and basin scale, WRR, Vol. 33, pp. 2967-2980, 1997.
- 2) Smith, J.A.: Representation of basin scale in flood peak distributions, WRR, Vol. 28, pp. 2993-2999, 1992.
- 3) 宝馨: 国際水文学計画(IHP)及びFRIENDプロジェクトの課題と現況 - 東南アジア・太平洋地域の活動を中心として -, 水文・水資源学会誌, 第11巻, pp. 274-284, 1998.
- 4) 葛葉泰久ら: 年最大流量の変動係数を用いた流出特性の解析, 第54回土木学会年講概要集第2部, pp. 642-643, 1999.
- 5) Eagleson, P.S.: Dynamics of flood frequency, WRR, Vol. 8, pp. 878-898, 1972.
- 6) Eagleson, P.S.: The Stochastic kinematic wave, in Systems Approach to Hydrology, pp.202-225, Water Resources Publications, Fort Collins, 1971.
- 7) Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W.: Applied hydrology, pp. 380-391, McGraw-Hill, 1988.

(1999.9.30受付)