

Regional Flood Frequency Analysis —Eagleson の古典モデルの改良—

防災科学技術研究所*1	正会員	○葛葉 泰久
京都大学防災研究所	正会員	友杉 邦雄
防災科学技術研究所*1	フェロー	岸井 徳雄
防災科学技術研究所	正会員	小松 陽介

1. 序論

PUB (*Prediction in ungauged basins*) を実現する有力な手段として, *Regional flood frequency analysis* (地域洪水頻度解析) と呼ばれる手法が挙げられる. Eagleson (1972) は, 降雨余剰(i_e), 降雨継続時間(t_{re})を指数分布でモデル化し, 一水路対称二斜面の流域からの流出を *Kinematic wave* 法でモデル化した. さらに, 降雨モデルー流出モデルから求められる洪水流量を Gumbel 分布に従うと仮定し, 年最大流量 (部分水文資料に対するリターンピリオド 1.79 年に対応する洪水流量) と流域面積の関係を求めた. Eagleson (1972) はその後のこの種の研究に大きく影響を与え, 洪水頻度をモデル化する際にそのパラダイムがしばしば用いられてきた. また, 近年, 年最大流量の変動係数 (CV) と流域面積の関係について, ある閾値まではそれが増加し, 閾値以上は減少する傾向とその解釈 (Smith, 1992; Gupta and Dawdy, 1994; Robinson and Sivapalan, 1997) が報告されてきた. CV の増加ー減少傾向 (閾値の存在) に懐疑的な報告 (Bloschl and Sivapalan, 1997) もあるが, 少なくとも, 全体的な傾向としては, それが減少傾向にあることは日本のデータ (葛葉ら, 2000) から明らかである. しかし, Eagleson のモデルでは CV の減少傾向は再現できない (葛葉ら, 2000). 本報告では, さらに詳細に検討を行い, Eagleson のモデルの改良について論ずる. 改良すべき点が明らかになれば, 現象を支配する (見逃していた) 重要な水文現象の特性を見出す可能性があるからである.

2. 古典モデルとその改良(1)

Eagleson のモデルで感度分析を行った結果, パラメータを変化させても CV の減少傾向は再現できなかった (葛葉ら, 2000). Eagleson のパラダイムは図-1 に示したとおり, 洪水流量 $Q_{max}=Q_p-Q_b$ (Q_p : 基底流量を含めた洪水流量, Q_b : 基底流量) の確率分布関数 $F(Q_{max})$ を,

$$F(Q_{max}) = \iint_{R(Q_{max})} f(i_e, t_{re} | A_r) di_e dt_{re} \quad (1)$$

で求めるものである. ここで, A_r は, 降雨域の面積である. ただし, 本研究では, 上述の Gumbel 分布は仮定せず, 部分水文資料と毎年最大値資料のリターンピリオドとの関係を介し, 前者の超過確率 ($F'(Q_p)$) から後者のそれ ($G'(Q_p)$) を求める手法 (式(2)) により年最大流量を求めた. ここで, n は, 一年に降雨余剰が生じる回数の期待値である.

$$G'(Q_p) = 1 - 1/\exp[nF'(Q_p)] \quad (2)$$

図-2 は, このようにして求めた Q_p の平均値 (流域面積で除している, 以下, $SMAF$ と称す; 単位は $m^3/s/km^2$) と CV である. ここで, モデル C は, Eagleson(1972)のモデルによる計算値, モデル S は, それに先駆けて 1971 に発表されたモデルによるもの (仮定が非現実的) である. いずれも CV の減少傾向は再現できていない. その理由として, まず, (A) Eagleson が解析解を求めるために用いた '近似' に由来する誤差があるのではないかと考えた. そこで, Eagleson の近似の一部を使わず, 式(1)を数値積分して $SMAF$, CV と流域面積(A_c)との関係を求めたのが図-2 中のモデル I である. しかし, これも CV の減少傾向を再現していない. そこで, 次に, (B) 斜面構成 (対称 2 斜面) が単調すぎるのではないかと考え, フラクタル図形の一つである Peano 曲線を用いて, 流路ネットワークを作成した. 複雑な流出過程を流路ネットワークに取り込むのは非常に困難なので, 正方形の対角

*1 筑波大学地球科学系併任

キーワード: PUB, 地域洪水頻度解析, スケール, 洪水, Gamma 分布

連絡先: つくば市天王台 3-1 防災科学技術研究所 Tel & Fax: 029-851-6451

線を流路とする斜面を仮定し、Peano ネットワークで理想化した流路を作り、流域出口での瞬間単位図を求め、図-1 に示すような積分区間で積分を行い、SMAF, CV と流域面積の関係求めた。その詳細は講演時に報告するが、この結果も CV の減少傾向を再現できなかった。

3. 古典モデルとその改良(2)

Eagleson のモデル、また、著者らの Peano ネットワークモデルは、いずれも降雨強度（降雨余剰）の確率密度関数として、指数分布を用いている。ポイントの降雨量を面積降雨量に修正するパラメータがモデルに導入されてはいるが、降雨余剰の CV は面積によらず一定である。そこで、次に Sivapalan and Blochl (1998) に従い、降雨域が大きくなると降雨強度の CV が小さくなる Gamma 分布（式(3)）を上述のモデル I に導入した。これをモデル M と称す。

$$f_{I_e}(i_{eA}) = (\beta_A i_{eA})^{k_A-1} \exp[-\beta_A i_{eA}] \beta_A / \Gamma[k_A] \quad (3)$$

$$k_A = \kappa^{-2}, \quad \beta_A = \beta_p \kappa^{-2}, \quad \kappa^2 = \text{func}(\rho_p(r)), \quad \rho_p(r) = \exp(-r/\lambda)$$

式(3)中で、サフィックス p は、ポイントでの値を、 A は、面積 A の降雨域での値を意味する。モデル M によって求めた SMAF と CV を図-3 に示す。ここで、M-1,2 と M-3 では、図-1 中の $g(i_e)$ のモデル化（近似）の方法が異なる。また、M-1, M-2, M-3 の、降雨強度の相関を表すパラメータ（式(3)中の λ ）は、それぞれ、5km, 15km, 15km である。いずれも CV の減少傾向が再現できている。これにより、「面積が大きくなると降雨強度の CV が小さくなる特性」が、降雨－流出過程において、非常に重要であることが示されたと考える。

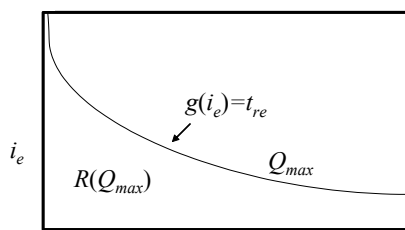


図-1 積分領域 (R) と近似曲線 $g(i_e)$

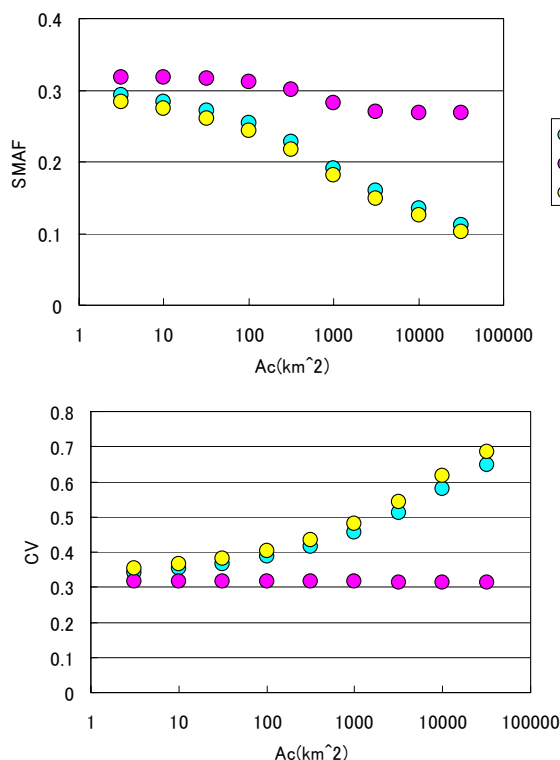


図-2 モデル C,S,I による SMAF(上), CV(下) と流域面積の関係

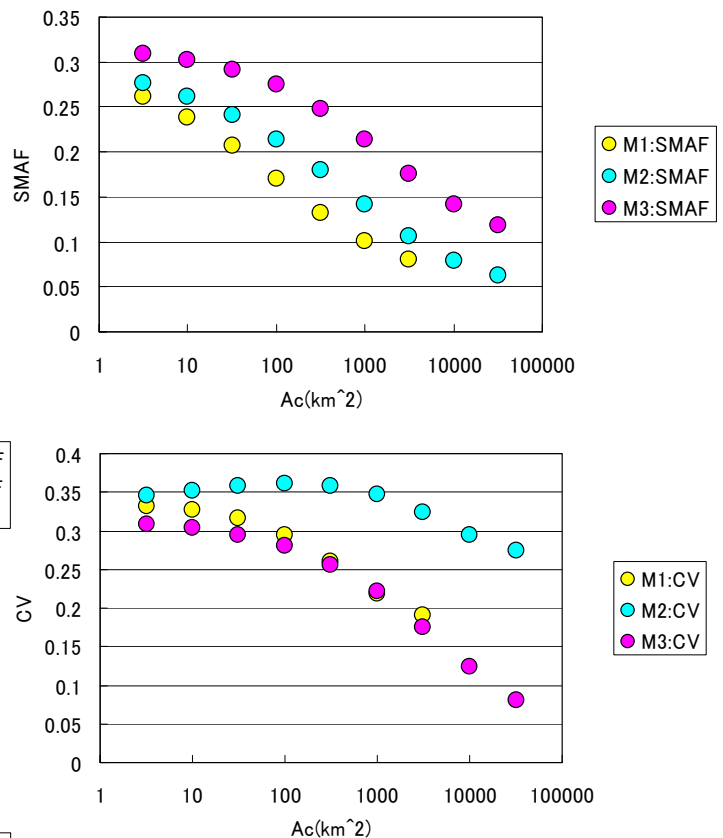


図-3 モデル M による SMAF (上), CV (下) と流域面積の関係

参考文献

- Blochl and Sivapalan, 1997, WRR, 33, 2967-2980.
- Eagleson, 1972, WRR, 4, 878-898.
- Gupta and Dawdy, 1994, In Adv. Distrib. Hydrol., 149-168.
- 葛葉ら, 2000, 水工学論文集, 44, 7-12.
- Robinson and Sivapalan, 1997, WRR, 33, 1045-1059.
- Sivapalan and Blochl, 1998, J. Hydrol., 204, 150-167.
- Smith, 1992, WRR, 28, 2993-2999.