II-25　集中型洪水流出モデルの評価法

京都大学大学院　学生員　楠橋康広
京都大学工学部　正　員　宝　馨
京都大学工学部　正　員　高棹琢馬

1．緒言　流出モデルの評価問題は未解決のまま今日に至っている。その理由としては，i）それぞれのモデルの目標（用途）や物理性の考慮の度合が異なる；　ii）評価規準が確立されていない；　iii）観測データに系統的誤差が含まれる；　などが考えられる。物理的な流出モデルは，分布パラメタモデルと集中パラメタモデルとに分類できるが，実際の流出過程との対応という点から見て，図1のように，前者は後者より上位にあり，それらを同じレベルで評価することには問題がある。本報告では，面積数百km^2 の流域における集中型の洪水流出モデルの評価法を検討した。

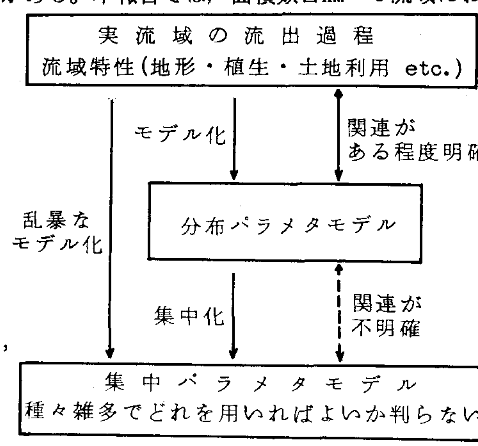

図 1

2．流出現象のモデル化　流出現象は物理的かつ確率的である。流出系内の真の物理現象がm個の物理量（状態量）とn個のパラメタによって説明でき，真の確率的現象がε_k で表されるとすると，時刻kにおける系の出力y_k は，真の物理現象を与える関数をf（・）として，次式で与えられる。

$$y_k = f(x_1(k), \ldots, x_m(k); \theta_1, \ldots, \theta_n) + \varepsilon_k \quad [1]$$

実際には，f（・）の完全な記述は不可能であり，何らかのモデル化が必要となる。そこで，モデルiの状態量の数をm(i)，パラメタ数をn(i)として，次のようにモデル化する。

$$y_k = g_i(x_1(k), \ldots, x_{m(i)}(k); \theta_1, \ldots, \theta_{n(i)}) + e_k^i \quad [2]$$

ここに，$g_i(\cdot)$ はモデルiの関数形で系の平均的挙動を表し，e_k^iは偏差（平均値0）を表す。

3．評価規準　［2］式のような確率過程的（統計的）モデルの評価規準として多用されているものは，次式で定義される赤池の情報量規準（AIC）[1]である。

$$\mathrm{AIC} = -2\log(\text{最大尤度}) + 2(\text{自由パラメタ数}) \quad [3]$$

赤池の方法は，AICを最小にするモデルを最良とするもので，モデルの尤度（適合度）とモデル次数（パラメタ数）とを同時に評価できる。すなわち，モデルの冗長性（過複雑性）を評価できる利点がある。［2］式のモデルの確率分布（ノイズ項の確率分布）が複雑であると，尤度の計算が煩雑になるが，通常は正規分布を仮定すれば十分である。このとき，最尤法は最小二乗法と一致し，未知パラメタがモデルパラメタと真の確率分布の分散σ^2 のn(i)＋1個であるので，AICは結局次式で与えられる（M：データ数）。

$$\mathrm{AIC}(i) = M\log\sigma^2 + 2(n(i)+1) + M(\log 2\pi + 1) \quad [4]$$

$$\sigma^2 = (1/M)\,\Sigma(y_k - g_i(\cdot))^2 \quad [5]$$

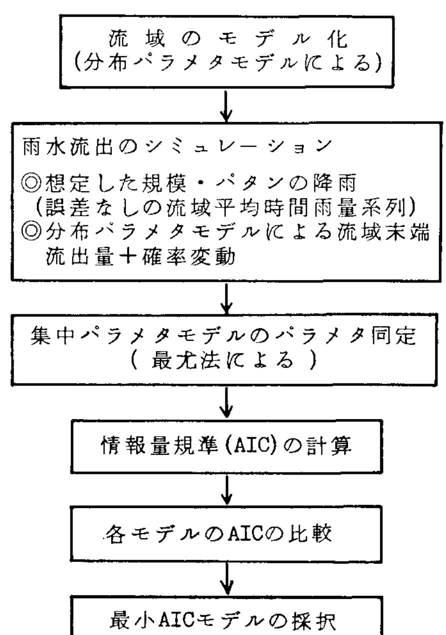

図 2

4．集中モデルの評価法　本研究では，分布モデルをprototypeとして［1］式fに相当するものとし，それをモデル化（集中化）したものが集中モデルであるとする。そこでまず，対

象流域を分布モデルによって記述し，所要の規模・パタンの降雨を与えて流出計算を行い，これに確率変動を付加して得られた出力を系統的誤差を含まない観測データとする。こうして得た入出力関係を最も良く表す集中モデルを見出そうとするのである。評価の手順を図2に示す。同定用データをシミュレートする分布モデルは，対象流域の状態を適切に記述できるものがよい。ここでは高棹・椎葉のモデル[2)]を用いる。すなわち，斜面ではA層と水みちを考慮したKinematic Wave 法に基づく表面流・中間流モデル，河道では普通のKinematic Wave 法により雨水流出を追跡する。

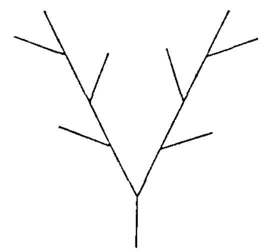

図 3

5．適用例　図3のような河道網を有し，各河道区分の両側に同一の矩形斜面をもつ流域（面積 250 km²程度を想定，斜面・河道の定数は実流域で求めた値[2)]をそのまま与えた）に，本手法を適用した結果を示す。総雨量 300mm，継続時間 50hr の三角形降雨を入力して得られた毎時の流域末端流出に正規乱数（平均値0，分散 $\sigma^2=0.25$）を付加した。降雨は，雨量ピークが10hr，40hr，25hrの3ケースとし，それらによる3洪水を同定用のデータとした。

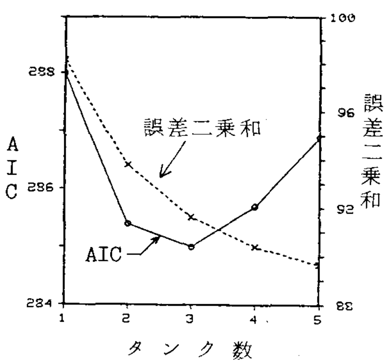

図 4

【1】階層的構造をもつモデルの最適次数の選択　図4は，図5(a)のようなタンクカスケード型のモデルに適用した例（雨量ピーク25hrの場合）である。モデル次数（タンク数）Nを増やすほど誤差二乗和は減少するが，AICはN＝3で最小となる。すなわち，N＝3のモデルがこの中では最も良い。

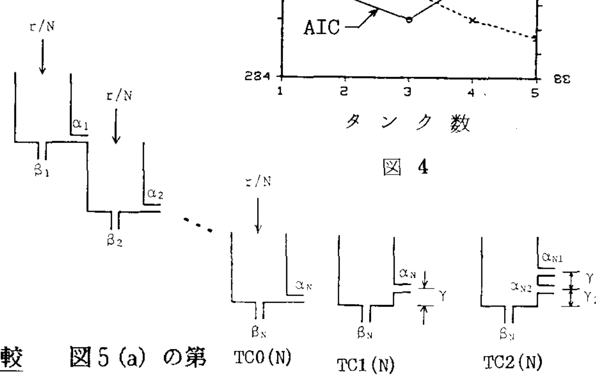

図 5

【2】異なる構造をもつモデル相互の優劣の比較　図5(a)の第N番目のタンクを(b)，(c)のように修正したもの，図6の4種のタンクモデルおよび木村の貯留関数法を上記3組のデータに対して同定し，それらを比較した。雨量ピーク25hrの場合，AICは，TC2(4)が 169.3，TANK2(2)が 169.1，貯留関数法が 157.0であった。他の場合も貯留関数法のAICが最小であった。ただしこれらのモデルは降雨の条件により（すなわち，洪水ごとに）パラメタ値の変動が見られたので，この結果から図3の流域に対して貯留関数法が最も良いと結論するのは早計である。降雨条件に影響を受けないモデルが望ましいので，パラメタの安定性をも考慮してこのような方法を適用していく必要があろう。

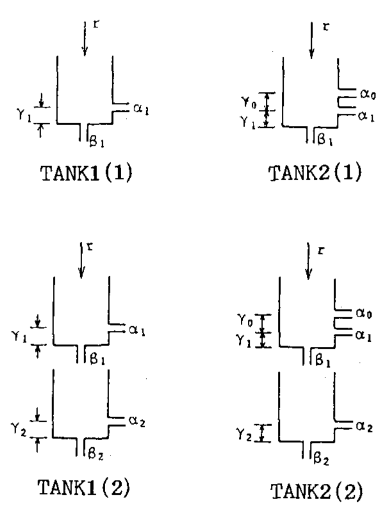

図 6

6．結語　モデルの適合度だけでなく，モデルの簡潔さをも評価できる手法を提示した。本報告により，集中型洪水流出モデルの評価法について一つの方向づけができたと考えている。なお，詳細については文献3）を参照されたい。

【参考】1）赤池：数理科学，No. 153，1976．
2）高棹・椎葉：第26回水理講演会論文集，pp.217-222，1982．
3）高棹・椎葉・宝：流出モデル評価への情報量規準の導入について，京都大学防災研究所年報，第27号B-2，1984（印刷中）．