多段貯水池モデルによる kinematic wave モデルの集中化に関する基礎的考察

京都大学工学部 正員 高棹琢馬 ○椎葉充晴
京都大学大学院 学生員 中北英一 張昇平　飛島建設 正員 安藤晴彦

§1. はじめに

流出現象は空間的広がりの中で生起する現象である。貯留関数法などの集中型モデルは空間的広がりを無視したモデルであり，それを無視できない場合，複数個の集中型モデルを連結したモデルが用いられることが多い。こうした集中型モデルの「分布化」は，取扱いの容易さをある程度保持しながら分布系としての流出系の特性をも考慮するものであるが，その分布化の規準は明確ではない。

筆者らは，むしろ分布型モデルである kinematic wave モデルの「集中化」の方法とその規準を与える方向で検討を進めてきた[1]。本報告は特に単一要素 kinematic wave モデルの集中化について再検討するものである。

§2. 単一要素 kinematic wave モデルの集中化の方法

単一要素 kinematic wave モデルの無次元化式は次のように与えられる[1]。

$$(1)\quad \begin{cases} \partial H/\partial T+\partial Q/\partial X=R(T)=P(T/T_R) \\ Q=H^m, \qquad 0\leqq X\leqq 1 \end{cases}$$

T，X，H，Q，R はそれぞれ時刻，位置，水深，流量，降雨強度，$P(\tau)$，$0\leqq\tau\leqq 1$ は降雨の時間配分パターンを表す $\int P(\tau)d\tau=1$ なる関数。T_R は降雨継続時間，$m\geqq 1$ は非線形性指数である。

上記無次元化式に対し，$0=X_0<X_1<\cdots<X_K=1$ なる分点 X_i をとって，区間（X_{i-1}，X_i）での H の積分値を S_i，X_i での H，Q をそれぞれ H_i，Q_i と表すと（図1），

$$(2)\quad \begin{cases} dS_i/dT=F_iR(T)+Q_{i-1}-Q_i \\ Q_i=H_i^m, \quad i=1,\ldots,K \end{cases}$$

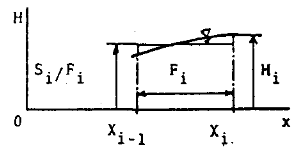

図１　記号の説明

が得られる。ただし，$F_i=X_i-X_{i-1}$，$Q_0=0$ とおく。定常時には，$a=(m+1)/m$ とおいて

$$(3)\quad \begin{cases} H_i=b_i(S_i/F_i) \\ b_i=aX_i^{1/m}F_i/(X_i^a-X_{i-1}^a) \end{cases}$$

が成り立つ。R(T) の変化が緩やか，すなわち T_R が大きいときは，水面形状は定常時のそれで近似できるので，(3)を(2)に代入した多段貯水池モデルで kinematic wave モデルが集中化される。

公式(3)の集中化の適切さを確認するため $T_R=5$ の二等辺三角形入力を考え，$K=2$ とし 分点 X_1 を後述する EPT 規準で定め，b_1，b_2 を変化させたときの多段貯水池モルによる流出を $\Delta t=0.05$ 間隔で $T=2T_R$ まで求め，kinematic wave モデルの値との差の二乗和を計算した結果を図２に示す。

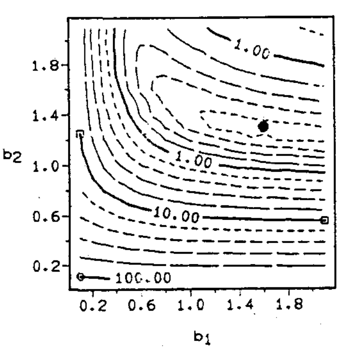

図２　貯水池個数が２の多段貯水池モデルの誤差二乗和の等値線

Takuma TAKASAO, Mitiharu SHIIBA, Eiiti NAKAKITA, ZHANG Schengping, Haruhiko ANDO

ただし，m=5/3。公式(3)による値（図中，黒丸）の適切さをこの図から読みとることができる。

分点の取りかたとして次の4通りの規準を検討する。①EPT規準：擾乱の伝播時間を等しくする。②ES規準：貯水量を等しくする。③STA規準：方程式系が最も安定になるようにする。④ED規準：等分割。筆者らが従来用いている規準はEPT規準である。

（注）①，②では定常時を，③では定常値の回りに準線形化した方程式系を考える。

集中化誤差を

(4) $e=\max\{|Q_{KW}(T)-Q_{RC}(T)|/(Q_{KW}(T)+\max\{Q_{KW}(T)\})\}$

（max は $T\leq 2T_R$ の範囲でとる。添字 $_{KW}$ は kinematic wave モデル，添字 $_{RC}$ は多段貯水池モデルの値を示す。）で評価した結果を図3に示す。ここには示さないが m も変化させた時の結果と併せて，次のことが分かる。(a)区分個数 K が増えると集中化誤差が減少。(b) T_R が増えると集中化誤差減少。(c) ES規準や ED規準は m，T_R，K が小さいときは集中化誤差が他の規準と比べて小さいが，これらの増大とともに集中化誤差のグラフが振動する。この現象は丸め誤差のためである。丸め誤差に対して最も安定なのは EPT規準である。STA規準も比較的安定であり，集中化誤差も小さい。よって STA規準が好ましい。しかし，STA規準による分割は河道網系 kinematic wave モデルへ適用しにくいので —— 単一要素 kinematic wave モデルの集中化を議論するのは河道網系 kinematic waveモデルへの応用のため —— 次善の EPT規準を採用するのが適切である。

§3. 集中化による流出計算例

以上の計算では降雨配分パターンを二等辺三角形に限っている。一般の矩形パルス列の降雨に対する流出計算の例を図4に示す。

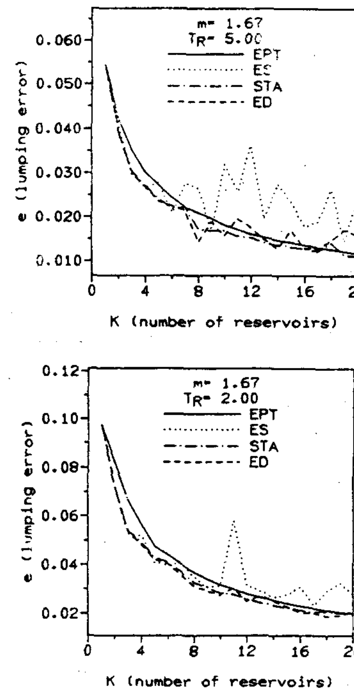

図3　各分割基準に対する集中化誤差

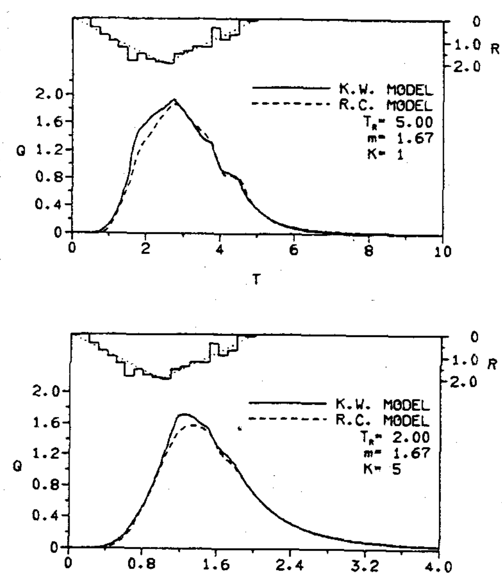

図4　K. W. モデルと R. C. モデルによる計算ハイドログラフの比較

□参考文献　1)高棹・椎葉・中北・張，第29回水理講演会論文集，1985.