貯留分布型流出モデルへの遅延入力降雨系列の算定法

A Calculation Method of a Delayed Input Rainfall Sequence
to the Runoff Model of Storage Distribution Type

福島　晟
Fukushima Akira

1．まえがき：本報告では、流域内の斜面長分布特性、雨水伝播特性及び流域内の降雨分布特性を考慮しつつ、貯留型流出モデルに分類される流出モデルの適用性を向上させることを意図した若干の検討結果を述べる。

2．流出モデル：貯留型流出モデルとして、洪水流出と低水流出が同時に解析できるという特長を有する角屋・永井の長短期流出両用モデルを基礎とした貯留分布型流出モデルを用いる。本流出モデルは、流域内の降雨分布特性が反映できるように、長短期流出両用モデル LST-Ⅱないしその応用流出モデルを拡張した流出モデル構成となっている。すなわち、流域モデル各ブロックにおける斜面域の分割数に応じて、LST-Ⅱモデルないしその応用流出モデルを連結し、流域斜面域の雨水伝播過程を表現することとする。なお、第１段タンク下層部及び第２，３段タンクは図１に示すモデル構造をそのまま利用する。また、河道部では、雨水流法における河道流計算手法を適用することとする。

3．流出モデルへの遅延入力降雨系列：洪水流出過程は流域に降った雨水の移動・伝播過程と理解し，巨視的観点から雨水の流出過程は斜面域における雨水から流出水への変換過程と河道系における流出水の伝播・変形過程とで表現されるものとする。すなわち，流域への入力降雨系列はこうした斜面域及び河道系における雨水伝播過程の特性を受けた後に，流域最下流端の流出量を形成することとなる。そこで，こうした遅れ過程を上述の貯留分布型流出モデルに取り込むために，次の仮定(ⅰ)～(ⅳ)が成立するものとして検討を進める。(ⅰ)斜面域における雨水伝播過程に対する流域地形効果は斜面域の斜面長分布特性に集約できるものとする。そして，河道に付随する斜面域の斜面長 B はガンマ分布で近似できるものとする。すなわち，次式で斜面長の分布関数が与えられるものとする。

$$F(B)=\frac{\lambda^n}{\Gamma(n)}\int_0^B \exp(-\lambda B)B^{n-1}dB \quad \cdots(1)$$

ここに，n；形状母数，1/λ：尺度母数。

(ⅱ)洪水到達時間に関する角屋らの研究成果[1)]を利用し，流域モデルの各分割領域における最遠斜面から斜面下流端までの雨水伝播時間 t_{ms}，及び各分割領域の河道最上流端から河道最下流地点までの雨水流伝播時間 t_{mc} が，次式のように表現できるものとする。

$$t_{ms}=C_s\cdot A^{0.23}\cdot r^{-0.40} \quad \cdots(2) \qquad t_{mc}=C_c\cdot A^{0.32}\cdot r^{-0.30} \quad \cdots(3)$$

ここに，C_s，C_c：定数，A：流域モデルの各分割斜面域の面積(km²)，r：降雨強度(mm/h)。

(ⅲ)河道から斜面に沿い距離 B_0 の斜面長と斜面域の雨水擾乱の伝播時間が 1 対 1 で対応するものとする。そして、河道から斜面に沿い距離 B_0 をとったとき，そこに含まれる斜面面積の流域面積に対する比率 $P(B_0)$を求める。ここで，斜面長 B_0 と $P(B_0)$との関係を図示

島根大学生物資源科学部　Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University　流出　流出解析

したものを集中斜面図と呼ぶことにする。なお，実際の流出計算に応用するに際し，(4)式で表される形状母数 n，尺度母数 $1/\lambda=1$ とするガンマ分布の確率密度関数 $f_y(y)$を利用して，$P(B_0)$に対応する W(y)の値を(5)式により算定しておく。

$$f_y(y)=\frac{1}{\Gamma(n)}\int_0^{y}\exp(-y)y^{n-1}dy \quad \cdots(4)$$

$$W(y)=\frac{1}{\Gamma(n)}\int_0^{y_0}\exp(-y)y^{n-1}dy+\sum_j\frac{y_0}{y_j\Gamma(n)}\int_{y_j}^{y_{j+1}}\exp(-y)y^{n-1}dy \quad \cdots(5)$$

ここに，$y=\lambda B$，$y_0=\lambda B_0$，$y \leqq Z_B$。Z_Bは形状母数 n，尺度母数 $1/\lambda=1$ とするガンマ分布関数 $F_y(y)$の値が 0.99999 となる値とする。

(ⅳ)河道部における雨水擾乱の伝播時間の確率分布は，河道配列構造の河道網特性に左右されるが，ここでは斜面長分布と同様にガンマ分布で近似されるものとする。

流域への入力降雨系列は上述の(ⅰ)～(ⅳ)に示す仮定に基づく遅延効果を受けた降雨系列に変換した後，貯留分布型流出モデルに入力され，さらに本流出モデル構造による斜面域の各区分領域における貯留型変換過程、さらに河道網系における雨水伝播過程を経て流域最下流端での流出量を形成することになる。

以上の仮定のもとに，貯留分布型流出モデルへの遅延入力降雨系列の算定法を考えると以下のようになる。いま，入力降雨単位時間をΔtとし，時刻 t_{i-1}～t_i 間の降雨強度を r_i とする。この r_i は，集中斜面長分布に対応した確率分布を有する遅れ時間の効果を受けて，河道に到達するものとする。すなわち，r_i を，雨水擾乱の集中時間を考慮した遅延作用素(重み関数)により，次式のような降雨系列 $r_s(j\cdot\Delta t)_i$ に変換する。

$$r_s(j\cdot\Delta t)_i=r_i\cdot\Delta W(t_s) \quad \cdots(6)$$

ここに，i=1，2，・・・・・・N。j=i，i+1，・・・・・・，$i+n_s-1$。$n_s=t_{ms}/\Delta t$。$\Delta W(t_s)=W(y_s)-W(y_{s-1})$。$y_s=\alpha\cdot t_s$，$\alpha=Z_B/t_{ms}$，$t_s=s\cdot\Delta t$，(s=1，2，・・・・・・$n_s$)。

ついで，$r_s(j\cdot\Delta t)_i$ を，河道系での伝播時間の確率分布に対応する遅れ時間の効果を受けた $r_c(n\cdot\Delta t)_{i,j}$ に変換する。なお，この河道系での遅れ時間の確率分布は前述の仮定(ⅳ)に示したようにガンマ分布で表現できるものとする。

$$r_c(n\cdot\Delta t)_{i,j}=r_s(j\cdot\Delta t)_i\cdot\Delta Y(t_k) \quad \cdots(7)$$

ここに，n=j，j+1，・・・・・・，$j+n_k$。$n_k=t_{mc}/\Delta t$。$\Delta Y(t_k)=F(t_k)-F(t_{k-1})$，$F_i(t_k)=\Gamma(n, y_k)/\Gamma(n)$，$\Gamma(n, y_k)=\int_0^{y_k}\exp(-y)y^{n-1}dy$で定義される不完全ガンマ関数，$\Gamma(n)$はガンマ関数である。$y_k=\beta\cdot t_k$，$\beta=Z_B/t_{mc}$，$t_k=k\cdot\Delta t$，(k=1，2，・・・・・・，$n_k+1$)。$k\cdot\Delta t>t_{mc}$ に対し，$\Delta Y(t_k)=0$。　以上のようにして，流域平均観測降雨系列 r_i，(i=1，2，・・・・・・，N)は，上述の(ⅰ)及び(ⅳ)の手順を経て得られる降雨系列 $r_c(n\cdot\Delta t)_{i,j}$ のうち，n=i となる $r_c(n\cdot\Delta t)_{i,j}$ を集計することによって，本流出モデルに入力すべき遅延降雨系列 $r_m(l\cdot\Delta t)$に変換される。ここに，l=1，2，・・・・・・，$N+n_s+n_{k-1}$。

4．あとがき：本報告で示した手法により、雨水流出過程における「遅れ時間」に降雨強度及び流域内の降雨分布特性を反映することが可能となり、従来の貯留型流出モデルで流域固有の一定の遅れ時間 T_l を導入することにより、観測ハイドログラフの再現性ないし流出モデルの適用性の向上が図るという手法が一層改良できるものと期待している。

【引用文献】1)角屋　睦・福島　晟：京都大学防災研究所年報、19-B、pp.143-152(1976)