

降雨の分布特性とそれが出水に及ぼす影響

京都大学工学部 正員 高橋琢馬
 京都大学工学部 正員 ○椎葉亮晴
 京都大学大学院 学生員 久保省吾

1. まえがき

降雨は空間的に複雑な様相を呈して分布している。しかし通常の出水解析においては、降雨は面積平均雨量に変換され、空間的分布の影響は無視される。ここに、降雨の空間的分布特性と、それが出水に及ぼす影響を把握する必要がある。本研究は空間的に分布した降雨による出水と、面積平均雨量を用いた一様な降雨による出水とを比較し、その両者の間に生じる誤差に対する降雨の分布特性および流域特性の感応度について、若干の考察を行なったものである。

2. 基礎仮定と誤差評価法

問題の取り扱いを容易にするため、次の仮定をおく。①地表面流のみを考える。②降雨の分布が空間的分布を表わす関数と時間的分布を表わす関数の積、すなわち $i(x,t) = f(x)g(t)$ ……(1) のように表わされる。 x は位置、 t は時間である。③ $\phi(y)$ を $\phi(y)dy = A\{x|y \leq f(x) \leq y+dy\} / \Sigma A$ ……(2) と定義し、 $\phi(y)$ がガンマ分布の確率密度であらわされる場合を考える。 ΣA は全流域面積、 $A(E)$ は集合 E の面積である。④全流域で斜面特性は一樣である。⑤降雨は斜面流下方向には変化しない。⑥河道における伝播時間は、山地斜面におけるそれと比較して無視できる。

$f(x)$ は一般性を失なうことなく平均値を 1 としてよく、本研究では、降雨 $f(x)g(t)$ を入力とする流出流量 $Q(t)$ と降雨 $g(t)$ による流出流量 $\tilde{Q}(t)$ とを比較する。そして、この両者の誤差と、 $\varepsilon = \{ \int_0^{\infty} [Q(t) - \tilde{Q}(t)]^2 dt / \int_0^{\infty} \tilde{Q}(t)^2 dt \}^{1/2}$ ……(3) によって評価する。

3. 擬似線形モデル

山地斜面における変換オペレータとしては、

$$\partial h / \partial t + \partial q / \partial x = i_e \cdots \cdots (4) \quad q = \alpha h^m \cdots \cdots (5)$$

(h : 水深, q : 単位幅当りの流量, i_e : 地表面流に供給される雨水, α, m はそれぞれ系の抵抗特性, 非線形特性をあらわす定数) の 2 式であらわされる Kinematic Wave 法を基礎とし、この非線形系に線形系の手法が適用できるように、擬似線形モデルを考える。これは降雨ごとに定める適当な強度 h_c のインパルスを方程式 (4) (5) で表わされる系への入力として得られる出力から構成される単位図をもった線形系である。この強度 h_c の決定には、Eagleson の提案した

$$h_c = 1.59 i_e^* t_c^* \cdots \cdots (6) \quad t_c^* = (L i_e^{*1-m} / \alpha)^{1/m} \cdots \cdots (7)$$

の関係をを用いる。¹⁾ i_e^* は降雨継続時間中の平均降雨強度、 L は斜面長である。

まず、降雨 $f(x)g(t)$ を入力とする単位図 $h(t)$ と $g(t)$ による単位図 $\tilde{h}(t)$ とを比較する。Fig. 1 は $\tilde{h}(t)$ と降雨の空間的分布の程度を示すガンマ分布の標準偏差 σ が変化したときの $h(t)$ の一例を示す。ここに、 B は斜面流出の生起場の大きさである。分布の程度が激しいほど単

位図の形は、早い時間に集中する傾向が認められる。また、 $u(t)$ と $\hat{u}(t)$ との誤差を式(3)の形で評価すると、次のことが得られた。① σ , m の増加につれて誤差は増大する。② α , L , i_e^* の変化は誤差に影響を及ぼさない。

なお、(3)式で表わされる誤差は、擬似線形モデルの振幅スペクトルによって容易に表わすことができ、筆者らは、単位図の誤差が σ と m だけの関数であることをスペクトル解析によって明らかにし、①②の性質を裏づけた。さらに、降雨の時間的分布 $g(t)$ の振幅スペクトルが通常低域に制限されることから、流出ハイドログラフ $Q(t)$ と $\hat{Q}(t)$ との誤差についても次のような結果を得た。①この誤差は、システムの実数性 m 、降雨の空間的分布の程度 σ 、およびシステムの遅れ特性を示す t_c と降雨の継続時間 t_r との比 t_c/t_r だけの関数である。②この三者の増加につれて誤差は増大する。ただし、 t_c は斜面上流端を出発した攪乱が河道に到達するのに要する時間であって、 $t_c = L/\alpha m i_e^{m-1} \dots (8)$ である。

4. Kinematic Wave法による数値シュミレーション

次に、山地斜面の変換オペレータとして、Kinematic

Wave法を用い、降雨の時間的分布として三角分布を仮定し、それを数値的に与えて、流域下流端における流出ハイドログラフを求めた。Fig 2に空間的に分布する降雨 $f(x)g(t)$ による流出 $Q(t)$ と一様な降雨 $g(t)$ による流出 $\hat{Q}(t)$ の一例を示す。ここに、 i_p はピーク降雨強度、 t_p は降雨のピーク生起時刻である。分布の程度が激しいほど、ハイドログラフの立ち上がり時間が早くなっていることは、先の単位図の形の変化と対応している。また、 $Q(t)$ と $\hat{Q}(t)$ の誤差を調べると、その特性は①②と一致している。

さらに筆者らは、単位図および流出ハイドログラフの誤差を、降雨の分布特性値と流域特性値との簡単な関数として表わすことも試みているが、詳細は講演時に述べたい。

5. あとがき

本研究は降雨の分布特性が出水に及ぼす影響と、擬似線形モデルを用いて考察したものである。今後は、河道における伝播時間と考慮し、河道の分布形状による影響、あるいは雨域の移動の影響についても考察したい。また降雨の空間的分布特性については、ガンマ分布を用いて表現したが、今後は、ランダムウォークの極限過程であるWiener-Levy過程に注目した、故川村元康君の研究成果を発展させ、これらを総合した降雨の分布特性と出水解析の精度と議論したい。

参考文献 1) P.S.Eagleson: A Distributed Linear Representation of Surface Runoff. 1969

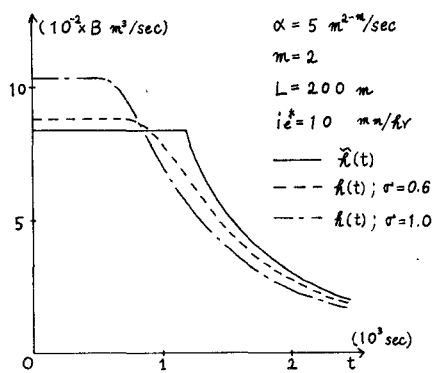


Fig-1 単位図の変化

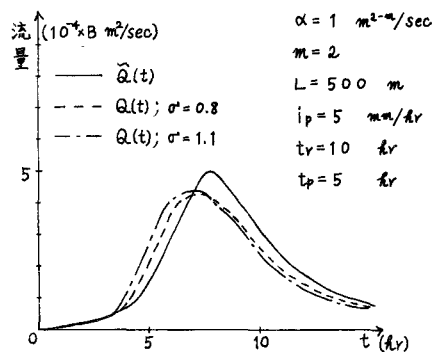


Fig-2 流出ハイドログラフの変化