

流出解析における降雨の空間的スケールの評価

名古屋大学 ○下平 晃稔
 名古屋大学 正 員 松林宇一郎
 名古屋大学 正 員 高木 不折

1. 本研究の目的

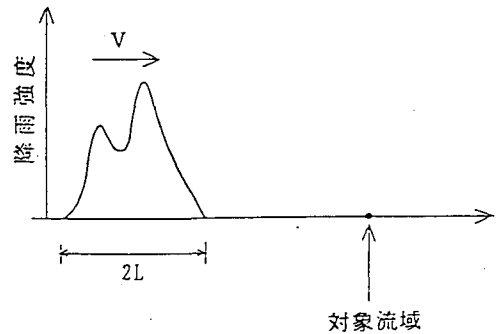
降雨と河道への流出との量的及び時間的關係を解析し推算する上で、従来、降雨の時間分布が様々な流出結果をもたらすことに関する検討はなされてきているが、空間的分布の影響に関する検討はあまり行われていない。近年、レーダー雨量計の普及にともない、降雨の空間分布のデータの活用が現実的になってきている。そこで、本研究では、降雨の空間分布が様々な流域とあいまって、どのように流出に影響してくるかを考察するため、降雨の空間分布が流出に与える影響と流域特性との関係を探ることを目的とする。

2 降雨の空間分布が流出に与える影響と流域特性の関わり

以上述べてきた目的のもとに、単純化した流域を仮想し、そこにある波形を持った仮想的な雨を与えて流出解析を行い、降雨波形が流出にどう影響してきているか、またその影響と流出特性はどう関わっているかを考察した。

2. 1 降雨の取り扱い

降雨を単純化するため、降雨は移動方向には図-1 のようなある空間的波形を持ち、紙面垂直方向には一様な空間分布をしているものとする。そしてその空間波形を保ったまま一定速度 V で流域を通過するとする。対象流域からの距離 x の地点における降雨波形 $r(x)$ は、フーリエ級数を用いて (1) 式のように表せる。この降雨波形のそれぞれの成分が流出にどう影響するかをみるために第 m 成分に注目する。降雨波形は、一定速度 V で通過するのだから時間 t を用いると $x = Vt$ となり、また波の重みと位相のずれに関するものを除くことにより、(2) 式のように表される。



$$r(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left(a_m \cos \frac{m\pi}{L}x + b_m \sin \frac{m\pi}{L}x \right) \quad (1)$$

$$r'_m(t) = \cos \frac{m\pi}{L}Vt + \sin \frac{m\pi}{L}Vt \quad (2)$$

2. 2 単位図の設定

流出モデルは、個々の地点の流出システム+集水システムとし、個々の流出システムを(3)式で表される単位図を用い、集水システムは一定速度の移流とし流域を矩形として (4) 式の単位図で表した。(3)、(4) 式による合成単位図は、 $U_T(T) = \int_0^T U_c(T-\tau)U_c(\tau)d\tau$ より(5)式となる。

$$U_c(t) = \alpha e^{-\alpha t} \quad (3) \quad U_c(t) = \begin{cases} \frac{1}{T_l} & (t \leq T_l) \\ 0 & (t > T_l) \end{cases} \quad (4) \quad U_T(t) = \begin{cases} \frac{1}{T_l}(1 - e^{-\alpha t}) & (t \leq T_l) \\ \frac{1}{T_l}e^{-\alpha t}(e^{\alpha T_l} - 1) & (t > T_l) \end{cases} \quad (5)$$

この単位図 U_T と降雨 $r(n)$ を用いると流出高 $q(t)$ は、 t が十分大きい時 (6-1)、(6-2) 式となる。

$$q(t) = \frac{1}{T_l} \int_0^t r(\eta)(1 - e^{-\alpha(t-\eta)})d\eta \quad (t \leq T_l) \quad (6-1)$$

$$q(t) = \frac{1}{T_l} \int_{t-T_l}^t r(\eta)(1 - e^{-\alpha(t-\eta)})d\eta + \frac{1}{T_l} \int_0^{t-T_l} r(\eta)e^{-\alpha t}(e^{\alpha T_l} - 1)d\eta \quad (t > T_l) \quad (6-2)$$

2. 3 周期的降雨の流出特性と流域特性との関わり

(1) 式で表される降雨が単発的でなく、周期 $2L$ で連続的に発生すると仮定した。これは、1978年、秋山によるメソスケールの降雨の時系列の観測結果による降雨を模擬したもので、この仮定により対象流域では、

2L/V時間毎に同様の降雨が発生することになる。(2)式で表される降雨波形の第m成分の影響を q_m とすると、 t が十分大きい場合、(2)式を(6-2)式に代入して q_m は次式となる。

$$q_m(t) = \frac{2\alpha}{T_1\omega_m} \sqrt{\frac{1 - \cos\omega_m T_1}{\alpha^2 + \omega_m^2}} \sin(\omega_m t + \theta) \quad (7) \quad \omega_m = \frac{m\pi V}{L} \quad (8)$$

$$F = \frac{2\alpha}{T_1\omega_m} \sqrt{\frac{1 - \cos\omega_m T_1}{\alpha^2 + \omega_m^2}} \quad (9)$$

ここで重要になってくるのが(9)式である。つまり空間分布の影響は(7)式の係数部分Fの大きさによって左右されるわけである。ここで(9)式に注目すると、Fは、流域特性を表すパラメータ α 、 T_1 、降雨の移動速度V、項数mの関数となっていることが分かる。

個々の地点の流域特性を表すパラメータ α とFとの関係を図-2に表わす。この時、 $T_1=1.67$ (h)、 $V=10.0$ (km/h)、 $m=1$ とし、Fは α のみの関数とする。これをみると α が大きいほどFは大きくなる。 α が大きいということは、(3)式で表される単位図U₀がシャープであることを意味し、シャープな単位図を描く流域ほど、降雨波形の影響を大きく受けるといえる。また一般に α が小さい場合、すなわち $\alpha=0.0\sim0.9$ である時、Fの変化が大きい。つまりこのことは流域特性の違いが降雨波形の影響を受ける度合にかなり影響するということを意味する。

図-3では、集水過程の流域特性を表すパラメータ T_1 とFとの関係を示している。この図から T_1 が大きくなるとFが小さくなることが分かる。 T_1 が大きくなるということは、(4)式で表される単位図U_cがフラットになるということを意味するから、やはりここでも単位図がシャープなほど降雨波形の影響を受けていることが分かる。図-3から分かるように、 $F=0$ となる T_1 が存在するが、これは $1 - \cos\omega_m T_1 = 0$ 、すなわち

$$T_1 = n \cdot \left(\frac{2L}{m} \right) / V \quad (10)$$

が成り立つときである。 $2L/(mV)$ は第m成分の波の周期であるので、その整数倍が T_1 と一致すると打ち消合って、その成分による波形の影響がなくなってしまうことを示す。

図-4はFと項数mの関係を示している。mが大きくなるとFが小さくなるということはフーリエで表された降雨成分の中で項数が大きいものほど流出に与える影響が小さいことを示し、図-4より10項以降はほぼ無視できるといえる。

3. 結論

以下に本研究で得られた結果を結論としてまとめておく。

- 1) 降雨の空間分布流出に与える影響度は流域特性によってかなり変わり、シャープな単位図を描く流域ほど降雨の空間分布の影響を受けやすい。
- 2) 降雨をフーリエ級数を用いて表した場合、流出解析においては、およそ10項以降は無視できる。

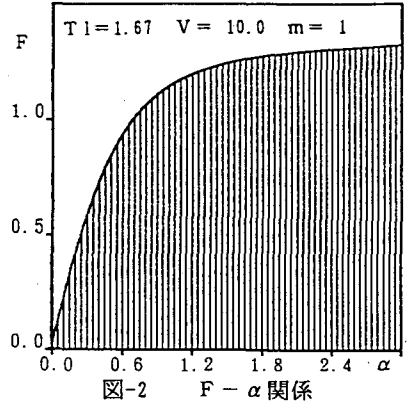


図-2 F- α 関係

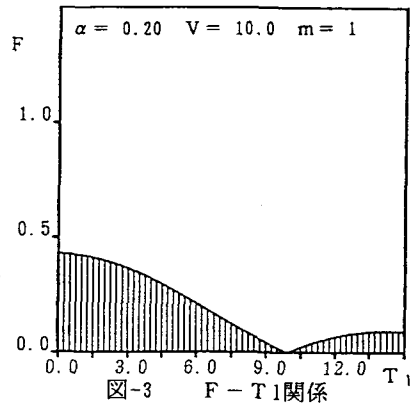


図-3 F- T_1 関係

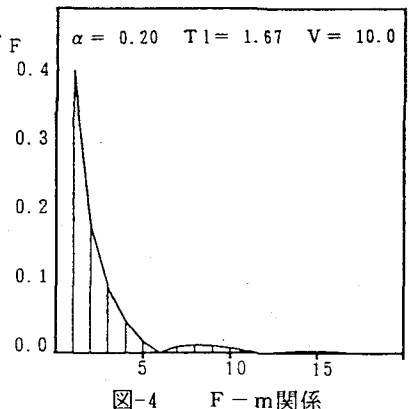


図-4 F-m関係