

II-15

降雨の空間構造と流出

専修大学北海道短期大学	正会員	山梨光訓
北海道大学工学部	正会員	藤田睦博
苫小牧高等工業専門学校	正会員	八田茂実
北海道大学工学部	学生員	田中 岳

1 はじめに

流出解析をするに当たって、流域平均雨量を用いる場合が多い。分布型の流出モデルを採用する場合でも、単位流域内では平均雨量を用いざるを得ない。どの程度の規模の単位流域を採用するか、いわゆる、スケールの問題が研究されている。本研究は、降雨の空間変動が流出に及ぼす影響を解析しようとするものである。降雨の空間変動を扱うので、採用する流出モデルも分布定数型のモデルであることが必要である。ここでは、Kinematic Wave 式を用いた解析結果を示す。この式は単位の山腹斜面からの流出を対象にしているので、通常用いられている意味での流域平均雨量と降雨量の空間分布が流出に及ぼす影響までを検討することはできない。斜面上の分布を考えている例としては、融雪流出の解析で気温の低減率を用いて山腹斜面上の積雪表面の融雪量を推定する場合を挙げることができる。本研究はこのように降雨量を流量に変換する斜面場における基本的な事項について検討するものである。

2 基礎理論

一様勾配斜面上の Kinematic Wave 式は、式(1)、(2)によって与えられる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = f(x)r(t) \quad 0 \leq x \leq l \quad (1)$$

$$q = \alpha h^m \quad (2)$$

h : 水深 q : 単位幅流量 α, m : 定数 l : 斜面長

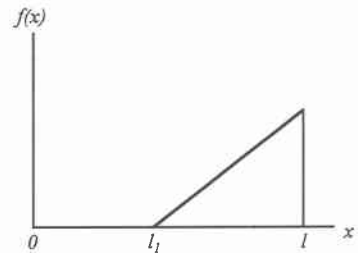


図-1 融雪時の $f(x)$

式(1)の右辺の関数 $f(x)$ で降雨の空間変動を評価しようとするものである。例えば、融雪流出解析をする際には、図-1に示すように式(1)の $f(x)$ が三角形になっている。

式(1)、(2)の kinematic Wave 式は、 α, m, l の三つのパラメータを持っている。解析を容易にするために、式(1)、(2)を無次元化する。ここでは藤田の手法に基づいて式(1)、(2)を無次元化する。無次元化の基準量として、次式を採用する。

$$h = h_0 H, \quad q = q_0 Q, \quad t = t_0 T, \quad x = x_0 X, \quad r = r_0 R \quad (3)$$

$$x_0 = l, \quad r_0 = \bar{r}, \quad q_0 = \bar{q}l, \quad h_0 = \left(\frac{\bar{r}l}{\alpha}\right)^{\frac{1}{m}}, \quad t_0 = \left(\frac{\bar{r}^{1-m}l}{\alpha}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

大文字の量は小文字の量に対応する無次元量となっている。式(3)、(4)を式(1)、(2)に代入して次式を得る。

Relationship Between Runoff and Spatial Distribution of Rainfall

By Yamanashi, M., Fujita, M., Hatta, S. and Tanaka, G.

$$\frac{\partial H}{\partial T} + \frac{\partial Q}{\partial X} = f(X)R(T) \quad 0 \leq X \leq l \quad (5)$$

$$Q = H^m \quad (6)$$

式(5), (6)を用いることによって、Kinematic Wave 式に含まれるパラメータの数を流出系の非線形性の指標となる m のみの一個にすることができる。

3 雨域が固定している場合

ここでは、式(5)の関数 $f(x)$ に関して、図-2, 3に示す二つの場合について検討した。図-2, 3の

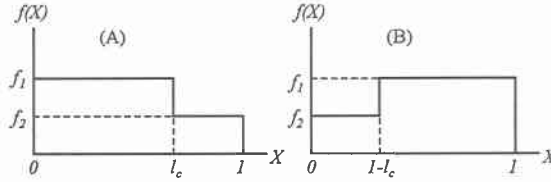


図-2 タイプ-1の $f(X)$

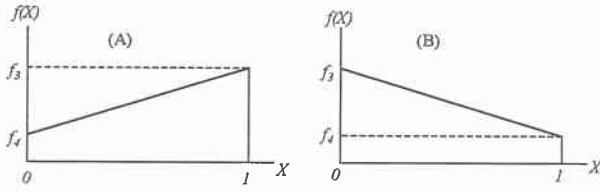


図-3 タイプ-2の $f(X)$

(A), (B)は、関数 $f(x)$ が x に関して逆の形状を持っている。次に降雨波形であるが、これについても

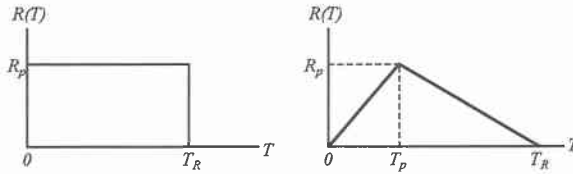


図-4 計算に採用した二つの降雨波形

図-4に示すように矩形降雨波形と三角形降雨波形の二つを採用した。本論文では、矩形降雨波形を R , 三角形降雨波形を T で表す。例えば、 $R-2(A)$ とは降雨波形が矩形で、 $f(x)$ が2のタイプの(A)の計算結果を表示するものとする。斜面上の無次元平均雨量は、式(5)の右辺より

$$\bar{R} = R(T) \int_0^l f(X) dX \quad (7)$$

として与えられる。ここで定義している平均雨量は、式(7)からもわかるように空間平均を意味している。したがって、それぞれタイプ-1, 2のケースにおける平均雨量を次式によって計算できる。

$$\text{タイプ-1の平均雨量} \quad \bar{R} = R(T) l_c f_1 + (l - l_c) f_2 \quad (8)$$

$$\text{タイプ-2の平均雨量} \quad \bar{R} = \frac{1}{2} (f_3 + f_4) R(T) \quad (9)$$

計算結果を図-5から図-8に示す。降雨波形とその流域上における空間分布構造を組み合わせることで4通りを示した。矩形降雨波形のRタイプについて $R_p=5\text{mm}$ 、 $T_r=2\text{hr}$ 、 $f_1=10$ 、 $f_2=0.5$ 、 $l_c=0.3$ の条件を与えた場合が図-5である。立ち上がり流量と減水部の流量変化は(B)タイプすなわち、流域下流部に重みがある降雨分布をする場合が速い応答を示している。ピーク流量にはわずかな差が見られる。また、図-6は $f_3=10$ 、 $f_4=0.5$ を与えたタイプR-2(A)、R-2(B)の結果を示す。これらはタイプR-1に比べ、流域平均雨量との差が小さい。図-7と図-8は三角形降雨の場合で $R_p=5\text{mm}$ 、 $T_p=1$ 、 $T_r=2$ 、 $f_1=10$ 、 $f_2=0.5$ 、 $l_c=0.3$ のタイプT-1、および、 $f_3=10$ 、 $f_4=0.5$ のタイプT-2の降雨流出である。タイプT-1では(A)よりも(B)の方が流出波形が先行していることが明瞭で平均雨量によるものはその中間にある。ここでも流域下流部に重みをもつ分布をした場合の降雨分布が流出形態に影響を与えていることがわかる。タイプT-2では差が小さい。これは降雨タイプRと同様である。このようにタイプ-2の拡散型分布降雨に比べタイプ-1のような集中型分布の場合には平均降雨では扱えない流出形態を立ち上がりの流出波形、ピーク生起時、ピーク流量などの点において吟味を要することがわかる。

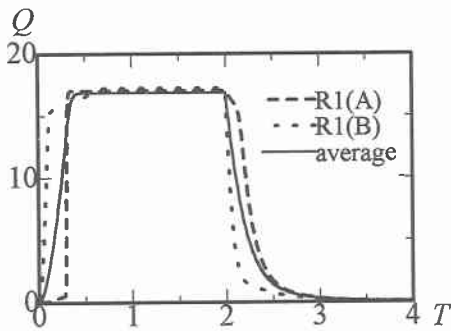


図-5

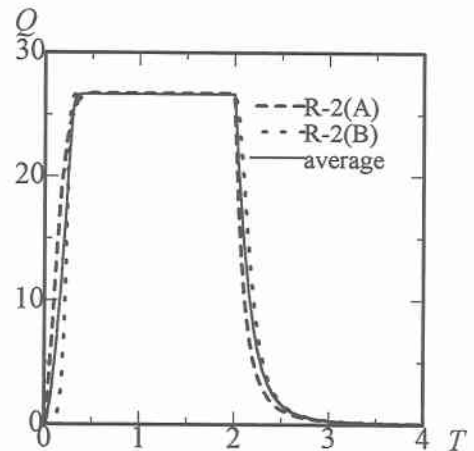


図-6

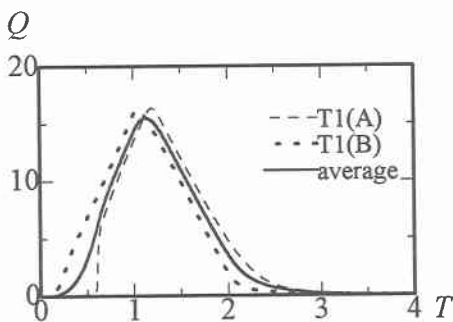


図-7

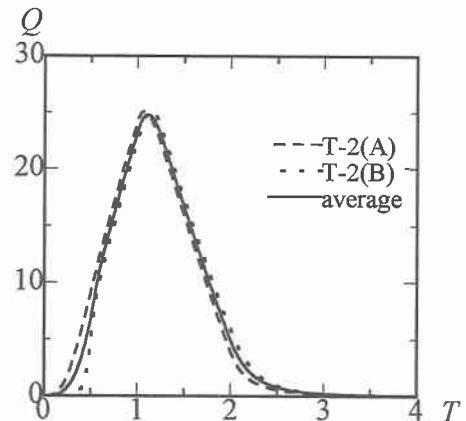


図-8

4 雨域が移動する場合

次に、雨域が斜面上を移動する場合を扱う。図-9に示すように雨域が斜面の上流端から下流端方向に移動する場合と、逆に、下流端から上流端に移動するする場合を検討する。図のABCDで囲まれた枠が雨域である。 $[x, T]$ 平面上で x 方向の移動速度を v_x 、 T 方向の移動速度を v_T とする。また、雨域内では図-4に示す三角形の降雨波形を採用した($T_R=2, T_p=0.5, R_p=4$)。さらに、計算を安定させるために雨域を含めて $[x, T]$ 平面全体に $R=0.1$ の降雨を与えている。図-10は計算結果の一例を示す。これまで言われてきたように斜面の上流端から移動する雨域(実線)の場合が下流端より移動する場合よりも(破線)、立ち上がりも急峻で、かつ、ピークも大きくなっている。ピーク時刻は v_x が小さくなると早くなる傾向が認められる。ピーク流量も v_x, v_T の値によって変化しているが、これだけの結果からははっきりしたことが言えない。

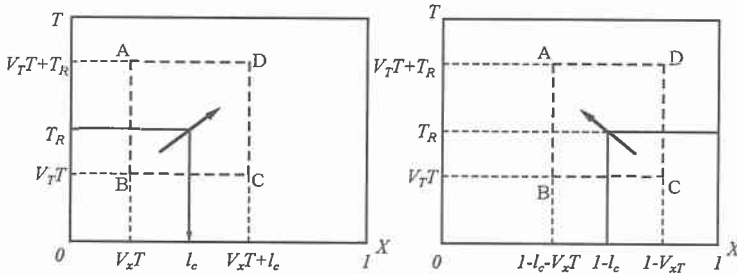


図-9

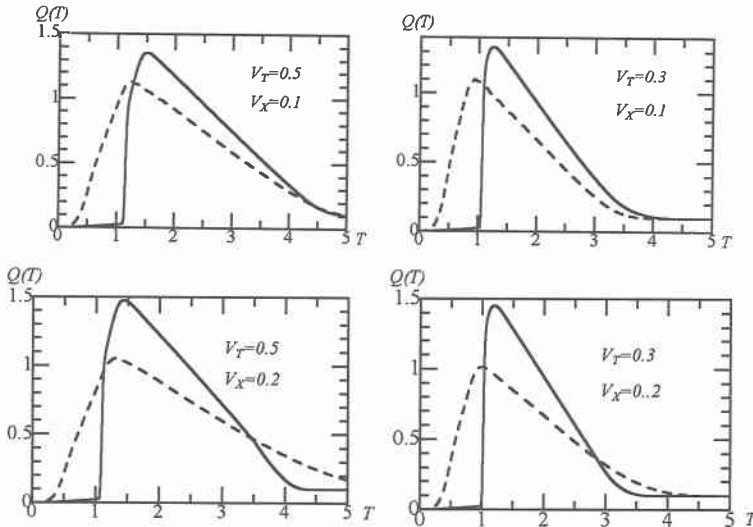


図-10

5 まとめ

本論文では、kinematic wave 式を用いて、降雨の空間分布を考慮した基本的な流出解析を行った。さらに、雨域が移動する場合についても基礎的な計算を行った。実流域は数多くの斜面によって構成されているので、本論文はその要素の解析をしていることになる。実流域の全ての斜面にkinematic wave 式を適用することは実用上不可能である。次のステップとしては、どの程度の規模のスケールでランピングするかが問題である。

参考文献

藤田睦博：斜面長の変動を考慮した貯留関数法に関する研究、土木学会論文報告集、第314号、75-86、1981