

東京大学工学部 正会員 高橋 裕

東京大学工学部 正会員 虫明 功臣

建設省近畿地建 正会員 ○古木 守 靖

1. まえがき

従来の流出解析では、降雨は、通常流域平均雨量として処理されて来たが、降雨の地域的分布、あるいは、その時間的な変動を無視することによって、果してどれ程の誤差を生じるのか？ 本研究はその問題を明らかにするためのワーステップである。具体的には、まず神流川流域の降雨の検討から、移動する降雨域という概念の妥当性の検証とそのモデル化を行ない、それを非常に単純化した流域モデルに降らせるという、いわゆる数値実験を行なって、流域平均雨量を用いた計算値と比較検討するという方法をとる。

2. 降雨機構とそのモデル化

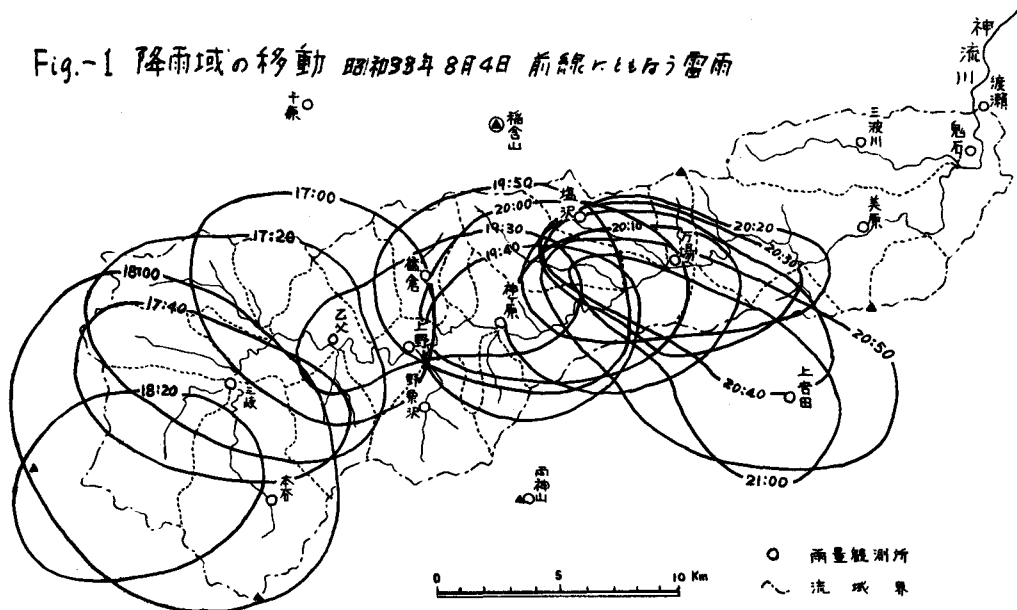
降雨域の移動と呼ばれる概念を、ここでは次の二つに分けて考える。

i) 雨雲の細胞の動きに対応して生ずる降雨域の移動。

ii) 個々の雨雲の細胞には直接対応していないが、雨の強く降る地域の見かけ上、時間とともに変化するもの。

これらに着目して、比較的自記記録のデータが整備されている神流川流域の降雨について解析を試みた。昭和28年以来的の出水の中から、降雨の自記観測地点数の多いもの、ならびに自記記録紙の比較から雨域の移動が予想されるものにノリし、10分、20分および1時間雨量を読み取り、等雨量線図を作成して降雨域の特性と推定した。Fig-1に、単独の対流雲より成ると推察される雨域の移動の代表例を挙げる。他にこれと同様のものとして、昭和32年7月27日の寒冷前線による雷雨、昭和35年8

Fig-1 降雨域の移動 昭和33年8月4日 前線による雷雨



月14日の台風12号通過後の前線にともなう雷雨などが顕著な例として挙げられる。これらの例によれば、移動速度は毎時5〜10 Km程度、直径は大体10 Km程度と推算される。降雨一流出において、流域は低域濾波器の役割を果たすので、個々の降雨域の変動によるいわば高周波成分が問題にならない場合がある。そのような場合でも、考える時間単位毎に流域上の降雨分布が変わって、見かけ上雨域が移動したと同じ効果を持つことが考えられる。この一例として、流域の降雨観測点の時間雨量の分布と、それぞれの地点での降雨の時間的重心を示したのがFig-2である。

次に、降雨域およびその移動が流出に及ぼす影響を検討するために、1時間単位でみた見かけ上の降雨域の分布型と移動速度のモデル化を行なう。神流川流域に中心を持つとみなされる降雨について、等雨量線図上で中心からの距離にしたがって降雨強度を求め、雨域の中心の降雨強度を1として表わすと、Fig-3のようになる。これらの分布型は、比較的に似た傾向を示していると考えられる。平均的な分布型を求めると、Fig-4の(a)のようになる。ほぼ10 Kmで中心の降雨強度の1/2になることに着目して、指数関数および正規密度関数を適用した

Fig-2 降雨の時間的重心
昭和28年9月25日
本谷
↑: 重心の位置を示す

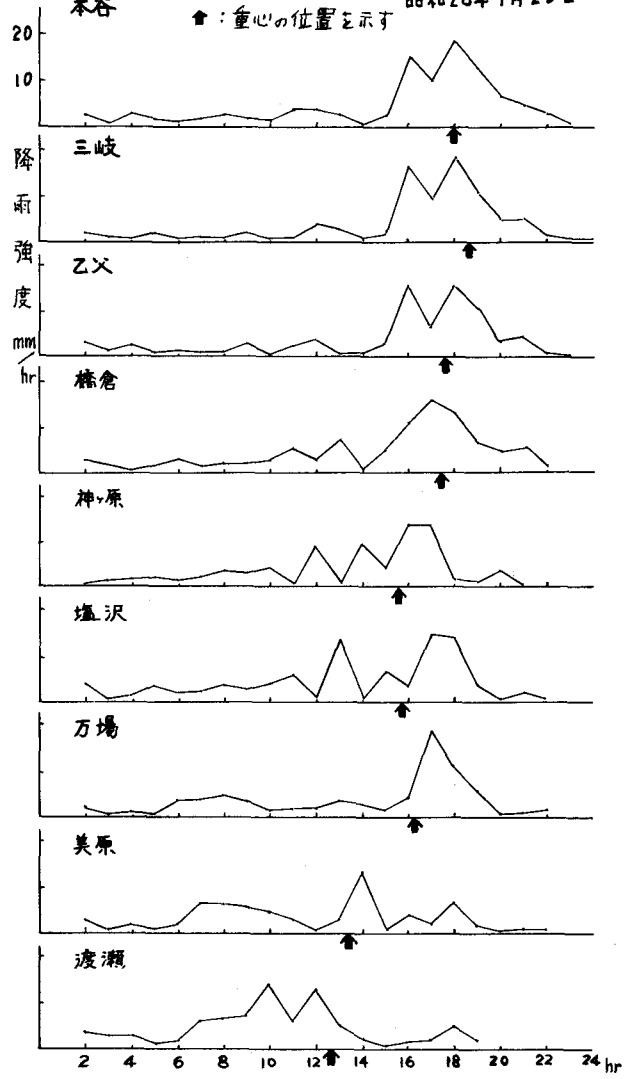
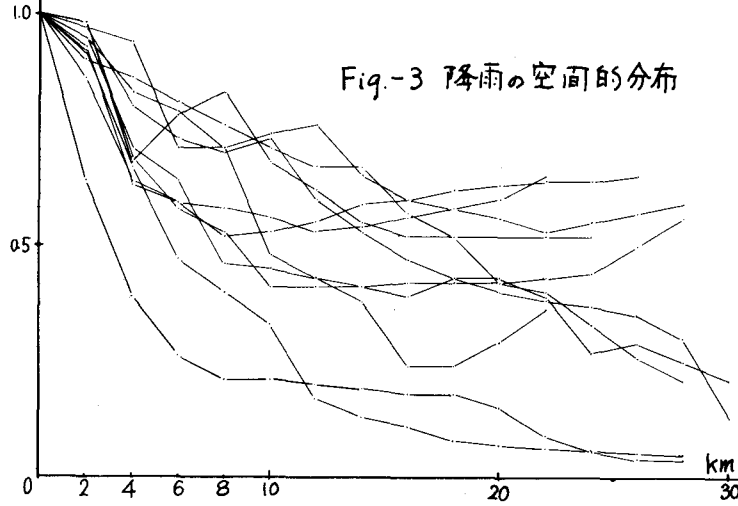


Fig-3 降雨の空間的分布



の0.7, Fig-4の(b),(c)である。これより降雨分布は指数関数で近似できるものと仮定して、

$$R(x) = R_0 e^{-kx} \quad (1)$$

ここに、 R_0 : 雨域中心部の降雨強度 (mm/hr), x : 中心部からの距離 (km), k : 10 km で中心部降雨強度の1/2とすると 0.03, である。

移動の方向は、それぞれの降雨によって異なり、移動速度も毎時数キロ

メートルから数十キロメートルと降雨によってかなり大きな中を持っている。

3. モデル流域上における降雨域の移動の影響

ここでは、まず、単純化した流域モデル上で降雨域の移動が流出に及ぼす影響について検討する。流域としては Fig-5 のような斜面と河道よりなるモデルを採用し、解析法としては、降雨を横流入と見立てて、“横から流入のある開水路の不定流”として取り扱う。

3-1. 基礎方程式とその解法

斜面に対する基礎方程式は、

$$u = \sqrt{I/N_c} \cdot h^{2/3}, \text{ または } q = \sqrt{I/N_c} \cdot h^{5/3} \quad (2)$$

$$\partial h / \partial t + \partial q / \partial x_c = r \quad (3)$$

ここに、 q : 単位幅当り流量, u : 平均流速, I : 斜面の勾配, N_c : 斜面に対する Manning の粗度係数, h : 水深, x_c : 斜面上流端からの距離, r : 降雨強度, である。

(2), (3) 式から

$$\text{特性曲線} \quad dx_c / dt = 5/3 \sqrt{I/N_c} h^{2/3} \quad (4)$$

の上で、

$$dh/dt = r, \text{ または } h_t - h_{t_0} = \int_{t_0}^t r dt \quad (5)$$

(4) 式の波動の伝播を、(5) 式でその伝播速度に乗った波の上での水深の変化を与える。

河道についても同様に、運動方程式と連続式は、

$$\bar{Z} = N_s^2 V^2 / R^{4/3} \quad (6)$$

$$\partial A / \partial t + \partial Q / \partial x_s = q \quad (7)$$

ここに、 $\bar{Z}$: 河床勾配, N_s : Manning の粗度係数, V : 平均流速, R : 径深, A : 流水断面積, Q : 流量, q : 単位長さ当りの横流入量, x_s : 河道上流端から下流への距離, である。

いま、断面の形状を決定する定数 K を次のように定義する。

$$AR^{2/3} = K A^P, \quad K = \sqrt{\bar{Z}} K / N_s \quad (8)$$

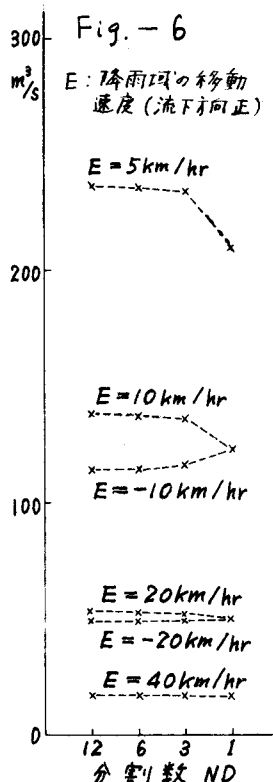
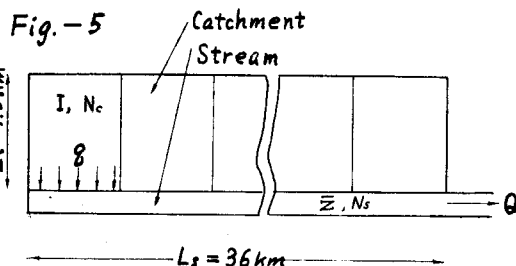
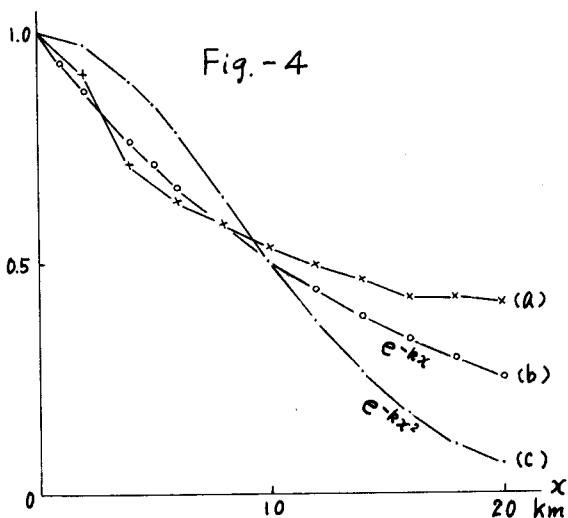
(6) 式より

$$Q = K A^P \quad (9)$$

(7), (9) 式より

$$\text{特性曲線} \quad dx_s / dt = P K A^{P-1} \quad (10)$$

の上で



$$dA/dt = q, \text{ または } A_t - A_{t_0} = \int_{t_0}^t q dt \quad (11)$$

断面は $y = ax^2$ で表わされる放物線形断面として、 $a = (Q/6)^{2/3}$, $P = 13/4$ とした。計算に際しては FACOM 270-30 を使用した。

3-2, 数値実験の結果とその考察

先に述べた指数関数形の降雨分布を矩形流域モデルに与え、種々条件を変えて流出量を計算した。流域の要素のうちモデルに組み込まれたものは、1) 流路長, 斜面長, 2) 流路勾配, 斜面勾配, 3) 流路および斜面の粗度係数, 4) 流路の断面形状, であり、降雨については降雨強度の分布形と移動速度である。ここでは、降雨域とその移動を考慮した場合としない場合の比較、さらに、斜面の粗度係数および移動速度を変えて得られた結果を示す。

まず、斜面の河道と直角方向に対する分割数 (ND) を変えた時のピーク流量の差を Fig-6 に示す。図では、ピーク流量しか挙げていないが、ハイドログラフの形も分割数 1 を除いて大差はない。分割数 1 というのは流域内の降雨分布も無視した、すなわち流域平均雨量を用いて計算したのと等価である。これと、降雨域の移動の効果が表われるという分割数 12 のハイドログラフを比較した一例を Fig-7 に挙げる。

次に、移動速度および斜面の粗度を変え、移動を考慮した場合 (ND=12) としない場合 (ND=1) のピーク流量の差を示したのが、Fig-8 である。ただし、横軸は流路下端での流速 V_1 で移動速度 E を除いた無次元表示であり、縦軸はピーク流量の差 ($Q_1 - Q_{12}$) の Q_{12} に対する比で表わしてある。移動速度が正の場合は、 $E/V_1 = 1$ 付近でピーク流量の差が大きくなるが、逆に下流から上流へ動くときには斜面の粗度係数は N_c の違いによって傾向が異なる。斜面の N 値を 0.4、流路の N 値を 0.04 としたこの計算例では、降雨域とその移動を無視した場合のピーク流量の誤差は最大 2 割以上となっている。 N_c の違いに着目すると、それがいよいよほとんど (すなわち、(斜面における伝播時間)/(河道における伝播所要時間) が大きいほど)、ピーク流量の差が大きくなるという傾向を示す。

本研究に当たっては、特に気象学に関連して、気象研究所の奥田様氏に有益な助言をいただいた。記して感謝の意を表する。

