

分布型出水モデルによるシミュレーションと集中化スケール

京都大学工学部 正員 高梅琢馬  
 京都大学工学部 正員 椎葉充晴  
 大阪市 正員 北村英和

降水の流動現象は種々の部分的な現象から構成されており、各部分現象は互いに他に影響を及ぼす。よって実際に降水の流動現象を追跡するときは、各部分現象を相互に関係し合う同時進行の過程として捉える必要がある。本研究では、この過程を適確に追跡できる手法を開発して連続非線形分布型の流出モデルを構成し、それによる流出のシミュレーションを行なった。また、出水解析の重要な課題の一つとして集中化スケールの問題があるが、本研究では、河道系のネットワーク構造の集中化スケール(河道分割の細かさ)の問題を取り上げ、スペクトル解析による決定方法について考察した。さらに、この方法で求まる集中化スケールの妥当性を先の分布型モデルを用いて確かめた。なお、実流域への適用は由良川上流荒倉流域に対して降水を場所的に一様として行なった。

1. モデルの構成と流出のシミュレーション 流水機構のモデルは力学的意義の明確なパラメータ群によって構成され、十分正しく実現象を追跡できるものでなければならぬという観点から、各部分機構に対して以下のようなモデル化を行なった。

(1) 遮断  $q = d_e S_e \dots ①$ ,  $d \frac{dS_e}{dt} = -q + r \dots ②$ ,  $r_f = A_f q + (1 - A_f) r \dots ③$  此に、 $q$ は葉面列の落降水量、 $S_e$ は葉面貯留量、 $d_e$ は定数、 $t$ は時間、 $r$ は降雨強度、 $r_f$ は林内雨量、 $A_f$ は遮断面積率である。

(2) 蒸発散 < Thornthwaite 式 >  $E = 16 (10 t_a / J)^n \dots ④$  此に、 $E$ は月間蒸発散能(mm/month)、 $t_a$ は $n$ 月の月平均気温( $^{\circ}C$ )、 $n = (0.675 J^3 - 77.1 J^2 + 17920 J + 492390) \times 10^{-6}$ 、 $J = \sum_{i=1}^{12} (t_i / 5)^{1.514}$ である。

(3) 融雪  $M = C \cdot D + R \cdot T / 80 \dots ⑤$  ( $M$ :全融雪量、 $C$ :定数、 $D$ : $0^{\circ}C$ 以上の積算気温、 $R$ :降雨量、 $T$ :降雨温度)

(4) 浸透 (a) A層底、水みち底からの浸透 < Holtan 式 >  $i = a F_p^b + i_c \dots ⑥$  此に、 $i$ は浸透能、 $i_c$ は最終浸透能、 $a, b$ は定数、 $F_p$ はA層あるいは水みち下の土層の余裕空隙の体積である。

(b) 土中の水分移動 < 開放性不飽和浸透流理論 >

$$q = -k(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} \dots ⑦, \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial z} \dots ⑧$$

此に、 $q$ は流量流速、 $k(\theta)$ は不飽和透水係数、 $\theta$ は体積含水率、 $z$ は距離、 $t$ は時間であり、また  $\psi$ は毛管ポテンシャルで土壤水分吸引水頭中(8)を用いて、 $\psi = -z + \phi$ と表わされる。

(5) 直接流出 < Kinematic Wave 法の修正 >

(a) 不浸透領域

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = r \dots ⑨, \quad q = \begin{cases} 0 & (0 \leq r \leq d_e) \\ d_i (r - d_e)^{m_i} & (d_e < r) \end{cases} \dots ⑩$$

此に、 $q$ は流量、 $k$ は水深、 $x$ は位置、 $t$ は時間、 $r$ は降雨強度、 $d_e$ は平均的な凹地深、 $d_i$ と  $m_i$ とは定数である。

(b) 水みち領域

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = r - i \dots ⑪, \quad q = \begin{cases} 0 & (0 \leq r \leq d_e) \\ d_j (r - d_e)^{m_j} & (d_e < r) \end{cases} \dots ⑫$$

此に、 $i$ は浸透能、 $d_j, m_j$ は定数である。

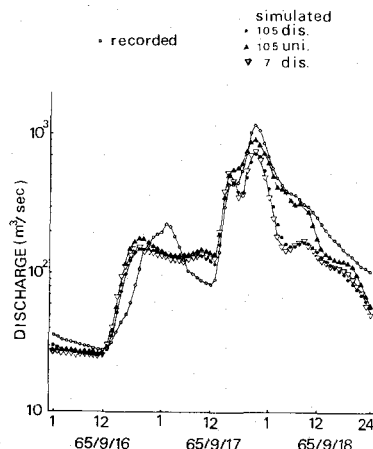


Fig.1 FLOW COMPARISON

(c) A層被覆領域

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial t} = r - i \quad \text{--- (14)}$$

$$q = \begin{cases} 0 & (0 \leq a \leq d_e) \\ (k_{in} \theta / \gamma) a & (d_e < a \leq \gamma D) \\ d_a (a - \gamma D)^{m_a} + (k_{in} \theta / \gamma) a & (\gamma D < a) \end{cases}$$

ここに、Aは通水断面積、kは透水係数、γは有効空隙率、DはA層厚、 $\theta$ は湿度である。

(6) 間接流出 (a) 遅い中間流出  $q = d \delta$  --- (15)  ここに、qは流出量、 $\delta$ は土層の単位面積当りの貯水量、dは定数である。

(b) 地下水流出  $q = \beta \delta$  --- (16)  ここに、qは地下水流出量、 $\delta$ は単位面積当りの地下水貯留量、 $\beta$ は定数である。

(7) 河道流出 < Kinematic Wave法 >

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad \text{--- (17)}$$

$$Q = v_c A^{m_c} \quad \text{--- (18)}$$

ここに、Qは流量、Aは流水断面積、 $q$ は単位幅当りの横流入量、 $x$ は距離、 $v_c$ は時間、 $v_c$ と $m_c$ とは定数である。

以上を適用した結果をFig. 1, 2に示す。

以上のモデルを荒倉流域に適用した結果をFig. 1, 2に示す。図中、105, 7とあるのは流域分割個数であり、uni., dia. は流域の地形量の一様、非一様を示している。計算結果は良好であり、このモデルの有用性を認めることができる。

2. 集中化スケールの決定方法

実際の流出系は非線形系であるが、対象とする出水規模によって層別化し、その各層について系を近似的に線形として取り扱うことにより、線形時間不変システムの時間スケールの決定方法を応用して距離スケール $l_0$ が次のように求められる。すなわち、 $l_0 = C \alpha R$  --- (19) (ここに、Cは河道内流速、 $\alpha$ は関数 $R(x) = \phi(x)$ のサンプリング時間間隔である。また、 $\phi(x) = (A/A_0) \phi_0(x)$ でAは流域面積、 $\phi_0$ は対象地点がSの河道に於ける距離、 $x$ は時間である。) この $l_0$ を平均河道区分長とするような河道表示を用いて流れの追跡を行えばよい。また、このときの河道表示での最下流の河道区分の Horton-Strahler 系の位数 $n_0$ も1つのスケールと見なせる。ところで、河道系の地形量間に幾何学的相似則を仮定すると、流域面積 $A_0$ の流域のZつのスケール $l_0, l_0$ と流域面積 $\tilde{A}$ の流域の $\tilde{Z}$ れ $\tilde{l}_0$ 、 $\tilde{Z}$ との間には、

$$\tilde{l}_0 = l_0 - \log_2 \{ (\tilde{A}/A_0) / \sqrt{\tilde{A}/A_0} \} \quad \text{--- (20)}$$

この $\tilde{l}_0$ は斜面系と河道系の効果を比較する指標 $S_t$  ( $= T_c/T_s$ ;  $T_c$ は河道での遅れ時間、 $T_s$ は斜面での遅れ時間)のみの関数として表わされ、対象とする流域の大きさには依存しないことが証明される。Fig. 3に荒倉流域で種々の $S_t$ に対して集中化スケール $\tilde{l}_0$ を式(20)により算定した結果を示す。この図より荒倉流域では最下流の位数をZとすればよいことが得られるが、そのような河道表示によれば流域分割個数は7であり、河道系を非線形系として追跡した結果のFig. 1, 2より十分正確な流出計算が可能であることが認められ、上の集中化スケールの決定方法が十分有効なものであることが確かめられた。

(参) 北村英和; 分布型モデルによる流出のシミュレーションおよび流域の集中化スケール

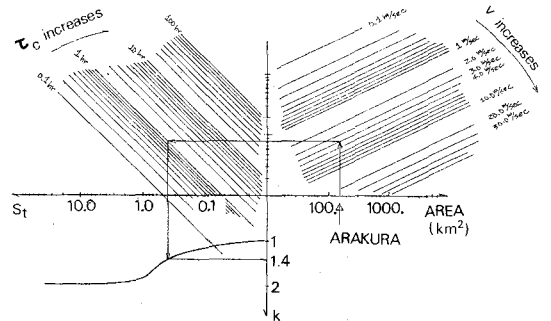
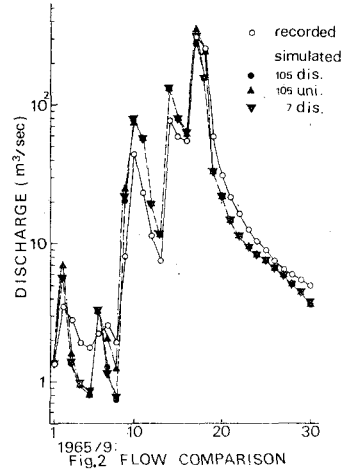


Fig. 3 LUMPING SCALE.