

水文環境の変化に伴う流出形態の変化予測のための流出モデルの開発

福島 晟・武田育郎・森 也寸志

A Runoff Model for Prediction of Change in Runoff Pattern due to the Change of Hydrologic Environment

Akira FUKUSHIMA, Ikuo TAKEDA and Yasushi MORI

Abstract A new runoff model is developed for runoff analysis, which is applicable to discuss the effects of global warming on the hydrological cycle and analyze a runoff phenomena considering the regional distribution of rainfall amount in a river basin. The following results are obtained:

1) The runoff model is combined kinematic wave runoff model with the Long and Short Terms Runoff Model(LST-II Model). Namely, the upper zone of the model is composed by kinematic wave model and the lower zone of one is the same with the LST-II Model.

2) The effective rainfall concerned in the surface runoff and/or prompt subsurface runoff is automatically computed in KiWS Model II.

3) The routine phases of rainwater flow on hillslope and stream flow in stream network are expressed by the kinematic wave model, in which the effective rainfall series corresponding to the regional distribution of rainfall amount are given as input condition for each basin block .

4) A runoff simulation shows that the KiWS Model II is applicable as a runoff model considering the regional distribution of rainfall amount in a river basin.

Keywords: Runoff model; runoff analysis; rainfall distribution; basin model

まえがき

地球温暖化は近年の地球環境問題の一つに位置づけられている。この地球温暖化による水文循環への影響については、年降水量の増加及び降水量の変動性の増大、雷雨性の降雨の増大、気温上昇による降雪量の減少と融雪の早期化等のことが推測されている。そして、温暖化によるこうした降雨特性の変化の影響を流域規模で評価・予測するためには、河川流域内の降雨分布特性及び地形・土地利用形態をも考慮しつつ降雨-流出系の長短期流出特性を実用的精度で表現する流出モデルの設定が一つの課題としてあげられる。本報では、こうした水文学的課題への応用を意図した流出モデルを検討するとともに、その適用可能性について若干検討した結果について述べる。すなわち、1)自然丘陵山地流域の河道配列構造に基づく分布型流域モデルの構成法、次いで2)既に提案して

いるKiWSモデル(Kinematic Wave Storage Model)¹⁾すなわち、雨水流モデルと角屋・永井の長短期流出両用モデル²⁾を統合したモデルによって斜面域及び河道部の雨水伝播過程を追跡するという流出モデルを活用した流出シミュレーションによる検討を行う。なお、本流出モデルは、河川流域内の降雨分布特性及び地形・土地利用形態の特性を考慮できる分布型モデル構成とする。また本流出モデルでは、分布型流域モデルの斜面域からの低水流出量が算定可能であることから、河道流計算には直接流出成分のみならず、この低水流出成分をも取込む手法を考えることにする。

1. 河道網の設定法と分布型流域モデル構成

まず、自然丘陵山地流域を対象として、分布型流出モデルの適用に際して設置される流域モデルを河道配列構造に基づいて作成することについて言及する。

国土地理院の1/2.5万あるいは1/5万地形図に記載の河道で形成される河道網をまず、 N_1 方式²⁾で次数化する。次いで、1次河道の集水域およびその残流域を単位流域として流域を分割し、それぞれのブロックを長方形ブロックに置換したものを1次流域モデルとする。そして、流域規模に応じた流出現象の時間的・空間的特性を考慮しつつ、実用的観点から流域モデルの単位流域の基準次数を逐次上げて集中化することを考える。すなわち、流域モデルの単位流域の基準次数をモデル集中化の指標とする。また、 u 次集水域を単位流域とする流域モデルを u 次流域モデルと呼称することにする。

なお、 u 次流域モデルは、ブロックの上流側から河道が流入しない外側ブロックと、ブロック上流側に他のブロックが連なり上流側から河道が流入する内側ブロックとから構成されることになるが、各ブロックの河道長は次のようにして評価する。すなわち、外側ブロックでは u 次河道長 L_u と主流方向の $(u-1)$ 次河道長 L_{u-1} の和で、内側ブロックではそのブロックの主河道長を当該ブロックの河道長とする。また、各ブロックの斜面勾配の計測には、加重平均による谷線法³⁾を適用する。

2. 流出モデルと流出解析法

2. 1 流出モデル

図1はKiWSモデルで、上述の分布型流域モデルの各ブロック斜面域における雨水の流れを表現しようとする流出モデルの模式図である。本モデルは図2のように、雨水流モデルと長短期流出両用モデルを併合した流出モデルを意図している。すなわち、長短期流出両用モデルにおいて、樹木等による降雨遮断効果、および第1段タンク下層部、第2～3段タンクはそのまま利用して、降雨遮断量、遅い中間流出量、地下水流出量を算定する一方、表面流出、早い中間流出で形成される斜面流および河道流には雨水流モデルを適用しようとする流出モデルであることから、本流出モデルをKiWSモデル(Kinematic Wave Storage Modelの略称)と呼称している。図1の流出モデルにおいて、第1段タンク下層部への雨水浸透成分は、遅い中間流出および地下水流出を構成する低水流出成分に変換される。

本流出モデルは当初、図1のタンクを底幅が単位長(=1 m)、奥行が分布型流域モデルの平均斜面長 B (m)とする単一のタンクとし、この単一のタンクからの低水流出高を算定するとともに、表面流出、早い中間流出で構成される直接流出高を分布型流出モデルである雨水流モデルで追跡し、流域最下流端部における直接流出高を

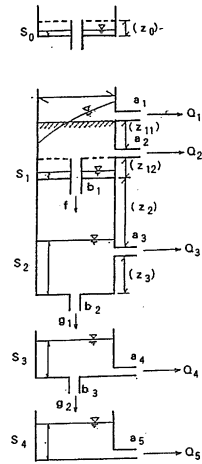


図1 KiWSモデルII

KiWSモデル：雨水流モデル+LST-IIモデル

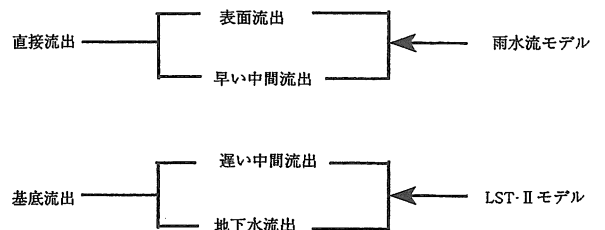


図2 KiWSモデルの構成

算定した後、この直接流出高と前述の低水流出高との和を、計算単位時間毎の流域最下流端流出量に換算するという手法によってモデルを構築していた。

実流域での雨水流出の素過程を忠実にモデル化するには、流出現象を支配する他の諸要素も考慮しなければならないが、ここではとりあえず以下のように、分布型流域モデルの各ブロック毎に地域的分布を考慮した降雨量系列を入力し、かつ各ブロックの土地利用形態に応じた斜面流への有効降雨系列が算定できるように改良する。

なお、以下では本報で示すKiWSモデルをKiWSモデルII、当初の流出モデルをKiWSモデルIと呼称することにする。

さて、分布型流域モデルの各ブロックの斜面域においては、図1に示すKiWSモデルIIにより、降雨遮断量、低水流出高、浸透能、浸透高、蒸発散量が以下の式で算定されるものとする。

降雨遮断量：

角屋・永井法で採用されている次式の形で樹木等によ

る降雨遮断量 I_i を算定し、分布型流域モデルの各ブロックへの入力降雨系列 r_i より降雨遮断量を差し引いた雨量系列 r_a を第1段タンク上層に入力する²⁾。

$$r_{a,i} = 3600 \{R_i - (I_i - I_{i-1})\} / t_r \dots\dots\dots(1)$$

$$I_i = (z_0 - S_{0i}) \{1 - \exp(-R_i / z_0)\} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_i = \sum r_i \cdot \Delta t_r / 3600 \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 R_i ：入力降雨の単位時間を Δt_r 秒としたとき、 $i \Delta t_r$ 時刻までの累加雨量 (mm)、 I_i ： $i \Delta t_r$ 時刻までの降雨遮断可能量 (mm)、 z_0 ：最大遮断量 (mm)、 S_{0i} ：初期貯留量 (mm)、 r_i ：時刻 $(i-1) \Delta t_r \sim i \Delta t_r$ 間の降雨量(強度)(mm/h)、 $r_{a,i}$ ：時刻 $(i-1) \Delta t_r \sim i \Delta t_r$ 間の降雨遮断効果を受けた後の降雨量 (強度)(mm/h)。

低水流出高、浸透能、浸透高：

$$Q_3 = \alpha_1 a_3 (S_2 - z_3) \quad (\text{for } S_2 \geq z_3),$$

$$Q_3 = 0 \quad (\text{for } S_2 < z_3) \dots\dots\dots(4)$$

$$Q_4 = \alpha_1 a_4 S_3 \dots\dots\dots(5), \quad Q_5 = \alpha_1 a_5 S_4 \dots\dots\dots(6)$$

$$f = \alpha_1 b_1 (z_2 + z_3 - S_2) \dots\dots\dots(7)$$

$$g_1 = \alpha_1 b_2 S_2 \dots\dots\dots(8) \quad g_2 = \alpha_1 b_3 S_3 \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 $Q_3 \sim Q_5$ ：流出成分で、 Q_3 は遅い中間流出高 (mm/h)、 Q_4 と Q_5 は地下水流出高 (mm/h)、 f ：第1段タンク上層部よりの浸透能 (mm/h)、 g_1, g_2 ：下段タンクへの供給量 (mm/h)、 $\alpha_1 = \alpha_s / B$ 、 B ：各ブロックの斜面長 (m)、 α_s ：換算係数で計算単位時間を Δt_s 秒としたとき、 $\alpha_s = \Delta t_s \times 10^2$ となるが、各変量に上述のような単位を用いると、 $\alpha_s = 36$ となる。 a_3 ：遅い中間流を規定する定数 (cm/s)、 a_4, a_5 ：地下水流を規定する定数 (cm/s)、 $b_1 \sim b_3$ ：鉛直方向の浸透量を規定する定数 (cm/s)、 z_2, z_3 ：流出孔の高さ (mm)。

蒸発散量：

蒸発散量 E_i (mm/d) を石原・小葉竹の研究⁵⁾および角屋・永井の長短期流出両用モデルにおける手法²⁾を利用し、次式の形式で算定することにする。

$$E_i = E_1 + E_2 + E_3 \dots\dots\dots(10)$$

$$E_1 = E_0 - E_c, \quad \text{for } S_0 > 0, S_1 > 0$$

$$\text{or } S_2 \geq z_3 \dots\dots\dots(11)$$

$$= S_2 (E_0 - E_c) / z_3, \quad \text{for } S_0 = S_1 = 0,$$

$$\text{and } 0 \leq S_2 \leq z_3$$

$$E_2 = \tau E_c, \quad \text{for } S_3 > 0 \dots\dots\dots(12)$$

$$E_3 = (1 - \tau) E_c, \quad \text{for } S_4 > 0 \dots\dots\dots(13)$$

ここに、 E_i ：時間 t における蒸発散強度 (mm/d)、 E_0 ：最大蒸発散強度 (mm/d)、 E_c ：最終蒸発散強度 (mm/d)、 τ ：最終蒸発散量 E_c の第2段タンクへの配分比で、ここでは $\tau = 0.6$ と仮定する。

また降雨遮断タンクおよび第1段～3段タンクについての連続の式は以下の式で与えられる。

連続の式：

$$dS_0 / dt = r - r_a \quad \text{for } S_0 < z_0 \quad \text{and } r \neq 0$$

$$= 0, \quad \text{for } S_0 = z_0 \quad \text{and } r \neq 0 \dots\dots\dots(14)$$

$$= -E_i, \quad \text{for } 0 < S_0 \leq z_0 \quad \text{and } r = 0$$

$$dS_1 / dt = r_a, \quad \text{for } 0 \leq S_1 < z_{12} \quad \text{and } r \neq 0$$

$$= 0, \quad \text{for } S_1 = z_{12} \quad \text{and } r \neq 0 \dots\dots\dots(15)$$

$$= -E_i, \quad \text{for } S_0 = 0, 0 < S_1 \leq z_{12} \quad \text{and } r = 0$$

$$dS_2 / dt = fg - Q_3 - g_1 - E_i, \quad \text{for } S_2 \geq z_3 \dots\dots\dots(16)$$

$$= fg - g_1 - E_i, \quad \text{for } S_2 < z_3$$

$$dS_3 / dt = g_1 - Q_4 - g_2 - E_i \dots\dots\dots(17)$$

$$dS_4 / dt = g_2 - Q_5 - E_i \dots\dots\dots(18)$$

ここに、 S_0 ：降雨遮断タンクの貯留量 (mm)、 t ：時間 (h)、 r ：各ブロックへの入力降雨強度 (mm/h)、 r_a ：降雨遮断効果を受けた後の降雨量 (mm/h)、 $S_1 \sim S_4$ ：第1段タンク上層～第3段タンクの貯留量 (mm)、 f, g ：第1段タンク上層部よりの補給量 (mm/h)、 $E_i \sim E_3$ ：蒸発散に伴う各段タンク貯留量の減少強度 (mm/h)、 z_{12}, z_3 ：流出孔の高さ (mm)である。

上述の連続の式中の $E_i \sim E_3$ はそれぞれ $E_1 \sim E_3$ の値を mm/h に換算したものである。

次いで、表面流出および早い中間流出で形成される斜面流出高 Q_1, Q_2 は雨水流モデルを介して斜面下流端における河道への単位幅当たり横流入量として算定する。なお、各ブロック左右岸斜面域からの河道単位長流入量には、表面流および早い中間流で形成される斜面流出成分のみならず、上述の低水流出高 $Q_3 \sim Q_5$ も河道単位長流入量に換算して加算するものとする。すなわち、河道流は直接流出成分のみならず、低水流出成分も包含した流れとして、雨水流モデルを適用して追跡することになる。したがって、本流出モデルは、洪水流出期間のみならず、長期流出解析にも拡張した適用が可能といえる。

また、分布型流域モデルの各ブロックの斜面域において、表面流出、早い中間流出を形成する斜面流への有効降雨は以下のようにして算定する。

まず、上述の降雨遮断効果を受けた後の降雨量 r_a を算定し、次いで(15)式により、地表面凹地貯留量 S_1 を算定し、 r_a から S_1 を差し引き、残りの降雨量を r_e とする。そして斜面流への有効降雨 r_s は、 $r_s = r_e - f_g$ として算定される。この場合、第1段タンク上層部よりの補給量 f_g は、(i)計算単位時間 Δt_s 内に(7)式で表現される浸透能 f に見合うだけの降雨が補給され、 $f_g = f$ で与えられる場合、(ii) Δt_s 内に浸透能 f に見合うだけの降雨がなく、

f_g が Δt_s 内の降雨量に規定され、 $f_g = r_e$ ($r_e < \bar{f}$, \bar{f} は Δt_s 内の平均浸透能)で与えられる場合とがある。

したがって、斜面流への有効降雨系列 r_e は、上述のタンク貯留量 $S_0 \sim S_4$ および流出高 $Q_3 \sim Q_4$ 等の計算過程と平行して、算定されることになる。

なお、図1のKiWSモデルIIにおいて、 a_1 は雨水流モデルで定義されている斜面の等価粗度 N ないし斜面流定数 k を、 a_2 はDarcy型中間流を規定する定数で $k_1 \cdot s / \lambda$ ないし k_1 / λ を意味している。また、 z_{11} が中間流発生場の表層厚 D と λ との積 λD に相当している。ここに、 k_1 :表層土の透水係数、 λ :表層の有効間隙率、 s :斜面勾配である。

2.2 低水流出高の算定

いま、KiWSモデルIIの第1段タンク下層部、第2~3段タンクよりの流出高 Q_3 , Q_4 , Q_5 で形成される低水流出高を流出サイクルと対応づけて考えてみることにする。この場合、1つの流出サイクルにおいて低水流出部は5つのステージに区分して考えることができる。すなわち、表1に示すように第1段タンク下層部の貯留量 S_2 と第1段タンク下層部の流出孔の高さ z_3 との相対的關係で定まる遅い中間流出成分の有無、第1段タンク上層部よりの補給高 f_g の有無により1つの流出サイクルが5つのステージに区分できる。

本流出モデルでは、無降雨期間に相当するステージ1, 2では $f_g = 0$ となる。また、蒸発散作用に起因する貯留量の減少はステージ1, 2においてのみ生ずるものとする。

ステージ3, 4では第1段タンク上層部からの補給高 f_g として、前述のように2つの形式が考えられるので、ステージ3, 4をステージ3-I, II, 4-I, IIのようにそれぞれ2つに区分する。また、ステージ5は貯留量 S_2 の上限値 S_{2u} が継続する期間であり、補給高 f_g は最終浸透能 f_c で与えられる。

結局、1つの流出サイクルにおいて低水流出部によって形成される流出形態は表1に示すように7つのパターンに区分して考えることができる。

2.3 流出解析の手順

分布型流域モデルの各ブロックにわたって、KiWSモデルIIを用いて流出解析する手順は以下のとおりである。

なお、計算プログラミングに際しては、従来簡便的に用いられている計算単位時間毎に流域一様の流域平均降雨量を流出モデルに入力するのではなく、分布型流域モデルの各ブロック毎に地域的分布を考慮した降雨量系列を入力し、かつ各ブロックの土地利用形態に応じた斜面

表1 低水流出高のパターン

低水流出高のパターン	ステージ	貯留量 S_2 (mm/h)	遅い中間流出高 Q_3 (mm/h)	補給高 f_g (mm/h)	蒸発散量 E_t (mm/d)
1	1	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_g = 0$	$E_t \neq 0$
2	2	$0 \leq S_2 \leq z_3$	$Q_3 = 0$	$f_g = 0$	$E_t \neq 0$
3	3-I	$0 \leq S_2 \leq z_3$	$Q_3 = 0$	$f_g = f$	$E_t = 0$
4	3-II	$0 \leq S_2 \leq z_3$	$Q_3 = 0$	$f_g = f_0$	$E_t = 0$
5	4-I	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_g = f$	$E_t = 0$
6	4-II	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_g = f_0$	$E_t = 0$
7	5	$S_2 = S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_g = f_c$	$E_t = 0$

流への有効降雨系列が算定できるように流出解析の手順を改良することとする。この改良点以外の解析手順は以下のように前報¹⁾と同じ計算手順となるが、本改良によって河川流域内の降雨分布特性及び地形・土地利用形態をより明確に反映させた計算流出ハイドログラフが得られるものと期待できる。

i) まず、各ブロックへの入力降雨の単位時間 Δt_s 毎の降雨量から樹木等による降雨遮断量を差し引く。ここで降雨遮断量は(1)~(3)式により算定する。

ii) 降雨遮断効果を受けた後の降雨量 r_e から地表面凹地貯留量を差し引き、残りの降雨量を r_e とする。すなわち、図1に示すように、第1段タンク上層部の貯留量 S_1 の上限を z_{12} とし、降雨量 r_e は S_1 が z_{12} に達するまで地表面凹地貯留量の増加量となり、 $S_1 = z_{12}$ となった以降の降雨分は以下の手順により直接流出成分への有効降雨 r_e ないし補給高 f_g として評価される。ただし、各ブロック斜面域での計算単位時間は Δt_s とする。

iii) $r_e = 0$ のときは、 $r_e = f_g = 0$ となり、 S_2 と z_3 の大小関係によりステージ1または2の流出計算をする。

iv) $r_e \neq 0$ のときは、ステージ3, 4, 5のいずれかのステージについて流出計算をする。この場合、直接流出成分への有効降雨 r_e は $r_e > \bar{f}$ のとき $r_e = r_e - \bar{f}$, $r_e \leq \bar{f}$ のとき $r_e = 0$ として算定する。ここで、 \bar{f} は計算単位時間 Δt_s 内の平均浸透能で、次式により算定する。

$$\bar{f} = \alpha_1 b_1 (z_2 + z_3 - \bar{S}_2) \dots\dots\dots (19)$$

ここで、 \bar{S}_2 は時刻 $t \sim t + \Delta t_s$ 間の平均貯留量である。

v) ステージ3, 4, 5において、低水流出に関与する第1段タンク下層部への補給高 f_g は $r_e > \bar{f}$ のときは $f_g = f$, すなわち、 $r_e > \bar{f}$ のとき、 f_g は Δt 時間内で一定値 \bar{f} とするのではなく、 S_2 の時間的変化曲線式を(7)式に代入して評価される浸透能 f の値を用いることにする。

また、 $r_e \leq \bar{f}$ のときは $f_g = f_0 = r_e$ で与えられる。

vi) 時刻 t の貯留量 $S_2 \sim S_4$ を既知とし、 Δt_s 時間後の貯留量 $S_2 \sim S_4$ を算定する。

vii) 時刻 $t + \Delta t_s$ における低水流出高 $Q_b = \sum Q_i$ を算定する。

viii) 前述の i) ~ vii) を流出解析の対象期間まで繰り返す。

ix) 斜面流を表面流および早い中間流の共存する流れとして追跡する雨水流モデルを適用し、図1の流出高 Q_1, Q_2 の和に相当する斜面下流端における単位幅流量 q_s を算定する。なお、斜面流への有効降雨は、前述の iv) で算定される直接流出成分への有効降雨系列 r_s とする。

x) 上述 vii) で算定した低水流出高系列 Q_b を河道単位長流入量系列 q_b に換算した後、 q_b と q_s との和で評価される河道単位長流入量系列 Q を算定する。

xi) 河道単位長流入量系列 Q および各ブロック上流端からの河道流入量系列 Q_{ci} を取込んだ河道流追跡を雨水流モデルの河道流に関する数値解析によって行う。ただし、河道流追跡単位時間は Δt_c とする。

xii) 分布型流域モデルの河道配列構造の指標等を加味しながら、上述 i) ~ xi) を全ブロックについて行い、流域最下流端の流出量系列 Q を算定する。

なお、上述 i) ~ xii) の流出解析の手順をフローチャートで示すと、図3のようになる。

3. 流出シミュレーション

中山間地の水源部、スプロール的に混住化社会に進展している平野部等から構成される斐伊川流域（大津地点の集水面積；911km²）のような大流域では、出水時の降雨量には顕著な地域分布がみられる。そこで、KiWSモデルIIを図4に示す本流域の $u_s=4$ の流域モデルに適用し、降雨量の地域分布を考慮した流出シミュレーションを試みる。なお、入力降雨の単位時間は1時間とし、昭和47年7月豪雨時の観測降雨資料に基づき、1) ティーセン法で算定される流域平均降雨量(降雨A)、2) 流域上、下流域ブロックに流域平均降雨量の3割増(降雨B)あるいは3割減の降雨量(降雨C)を入力するという3つの降雨波形を考える。

図5に示すモデル定数を用いて流出計算した例を図6~8に示す。これらの図で実線で示すハイドログラフは降雨Aの入力降雨による計算流出量ハイドログラフ (Case I) である。図6の○印で示すハイドログラフは図4の流域ブロック1~8に降雨Bを、ブロック9~16のブロックには降雨Cを与えた場合の計算流出量ハイドログラフ (Case II) である。Case I のピーク流量2237m³/s に対し、Case II では2191m³/s と僅かにピーク流量が減少しているもののハイドログラフの形状は大差がないといえる。

図7の○印で示すハイドログラフは図4の流域ブロック

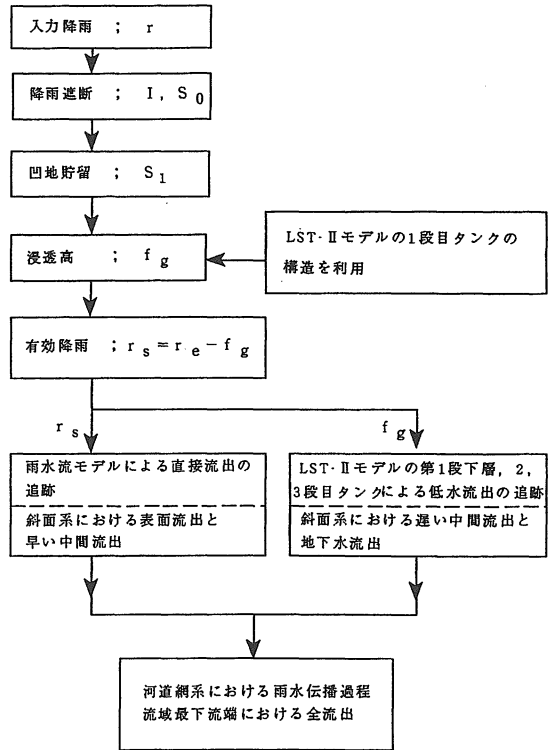


図3 流出解析の手順

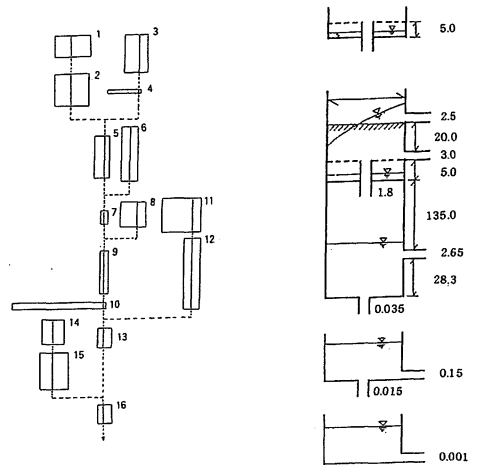


図4 分布型流域モデル (斐伊川流域, $U_s=4$)

図5 KiWSモデルII のモデル定数

1~8に降雨Cを、ブロック9~16のブロックには降雨Bを与えた場合の計算流出量ハイドログラフ (Case III) である。この場合のピーク流量は2347m³/s と、Case I の2237m³/s に比較し、ピーク流量が増加傾向にあり、かつ流域下流部の降雨量が上流部の値を上回る影響がピー

ク流量発生以前のハイドログラフ立ち上がり部分に100~200m³/sの流量増となる傾向をもたらしている。

さらに、この場合、流域の土地利用変化を想定し、流域ブロック9~16では、図5に示すモデル定数 a_1 、 a_2 、 b_1 がそれぞれ2/5~1/5に減少し、 $a_1=1.0$ 、 $a_2=0.6$ 、 $b_1=0.36$ に変化した場合の流出シミュレーション結果を図8に示す。Case Iの2237m³/sと比較し、ピーク流量は2881m³/sと約29%増加し、その発生時刻も3時間早まり、また流域下流部の降雨量が上流部の値を上回るという降雨量の地域分布の影響が、図7に比較してピーク流量発生以前のハイドログラフ部分により顕著な流量増となつてあらわれている。

以上の流出シミュレーション結果から、KiWSモデルIIの適用により、流域内の降雨量の地域分布を考慮した流出解析が可能であり、またその際、分布型流域モデルを介して、流域内の土地利用形態の特性をも反映させ得ることが示せたといえる。ただ、モデル定数の最適値については、水文観測資料に基づく同定・検証が今後必要である。

あ と が き

本報で検討したKiWSモデルIIにより、複数の地目から構成される流域を対象にして、流域内の降雨量の地域

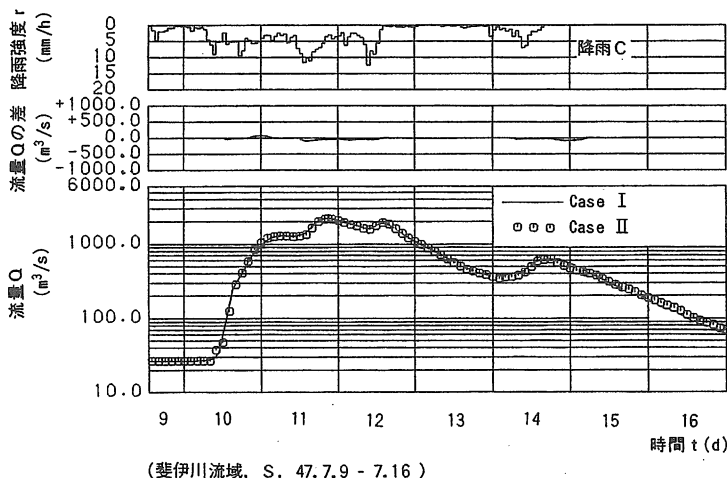


図6 流出シミュレーション結果 (Case I, Case II)

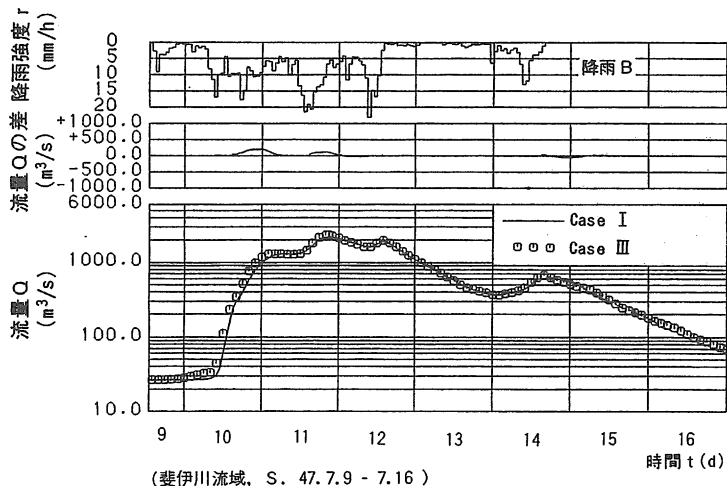


図7 流出シミュレーション結果 (Case I, Case III)

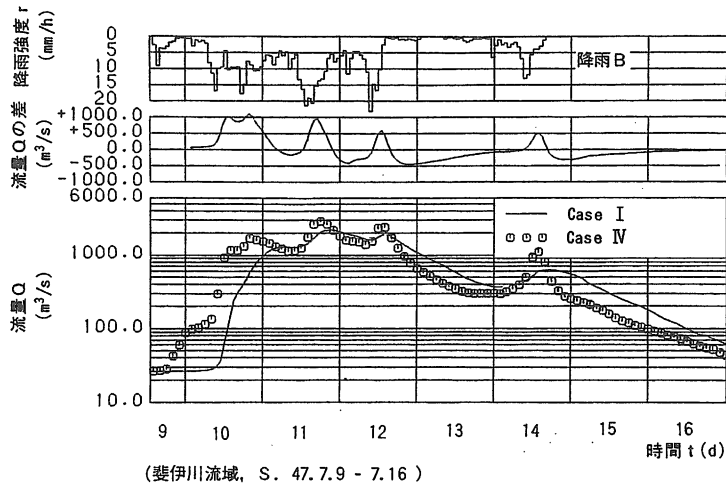


図8 流出シミュレーション結果 (Case I, CaseIV)

分布を考慮しつつ直接流出及び低水流出の両流出成分を合成した流出解析が可能であることが流出シミュレーションにより示された。今後さらに水文観測資料に基づく本流出モデルの適用性を検証の上、温暖化等による流域規模の水文環境の変化に伴う流出形態の変化・予測への応用を図る必要があるが、これについては逐次検討して行きたい。

引用文献

- 1) 福島 晟：分布型流域モデルを組込んだ流出解析法の検討，島根大学農学部研究報告，**26**，pp.45-53 (1992)
- 2) 角屋 睦・永井明博：長短期流出両用モデルの開発改良研究，農土学会論文集，**136**，pp.31-38 (1988)
- 3) 福島 晟：河道網の次数化とその統計的特性，農土学会論文集，**155**，pp.35-42 (1991)
- 4) 福島 晟：丘陵山地流域モデルと水文地形特性，島根大学農学部研究報告，**25**，pp.89-98 (1991)
- 5) 石原安雄・小葉竹重機：荒川流出試験地における水収支について，京都大学防災研究所年報，**14(B)**，pp.131-141 (1971)