

流域内の降雨分布特性を組込んだ分布型流出モデルとその適用例

福島 晟・武田育郎・森 也寸志

A Distributed Runoff Model Considering the Characteristics of Rainfall Distribution in a Watershed and Its Application Cases

Akira FUKUSHIMA, Ikuo TAKEDA and Yasushi MORI

Abstract It is valuable to construct a distributed runoff model reflected a spatially distribution characteristics of storm rainfall in a watershed by using the radar mesh rainfall information. However, the radar mesh rainfall information still remains some problems in the accuracy of areal rainfall evaluation for using as by way of input rainfall sequence of runoff analysis. In the previous report, we proposed a procedure of flood runoff analysis by the distributed runoff model using point rainfall data, in which the observed ground rainfall data in the watershed are converted to mesh data on the plane constructed by triangle network. But the optimum model parameters were not yet evaluated comparing with the observed hydrological data. In the present study, the identification of the proposed KiWS model of lumped and/or distributed parameter types are tried for a storm occurred on September, 1983 in the Hii River basin of 911.4 km². To reflect the spatially distribution characteristics of storm rainfall, the distributed watershed model composed of 15 blocks and divided 47 sub-slope area is introduced. Usefulness of the distributed type of KiWS model reflecting the spatially distribution characteristics of storm rainfall is shown by the identification applying the SP method (Standardized Powell method).

Key words: flood runoff, distributed runoff model, runoff analysis

ま え が き

近年、健全な水循環系の概念や施策の基本的方向等についての提案・議論が重ねられつつある。これは、流域の経済社会情勢の変化の中で、水循環系を取巻く状況も大きく変貌してきており、健全な水循環系を確保する上で、多種多様な問題が顕在化し、水の循環を安定させる森林、農地等の保全から、生産・生活活動による水循環系への障害対策等まで、「流域」の視点に立って取り組んでいくことの重要性¹⁾が認識されてきたことに起因している。なお、健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議では、「健全な水循環とは、流域を中心とした一連の水の流れの過程において、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下にともに確保されている状態」と定義され、日本においても総合的ないし包括的流域水マネジメントが展開されつつある。

そして、最近の水に関わる対立が顕在化する事例が増

えるに従い、こうした流域水循環系の健全化に向けて流域スケールでのその原理の探求及び事例研究が一層重要なものになっていると思われる。

本報告は、こうした流域水循環系における諸課題のうち、基礎的検討課題として、洪水制御管理に応用しうる実用的な洪水予測手法の開発・検証を意図して着手した研究事例の一部である。すなわち、地上雨量計と比較して時空間分解能が高いレーダ雨量計情報を活用した降雨・洪水予測、避難警戒システムの検討が可能となってきたことを背景に、前報²⁾では、レーダ雨量計で観測される流域内の降雨の時空間的分布特性を分布型流出モデルへの入力降雨に反映させる流出解析法について検討を試みた。もっとも、現時点では、レーダ雨量計によるレーダメッシュ時間雨量値をメッシュ直下の単独の地上転倒ます型雨量計による時間雨量値と比較した場合、平均雨量値に対して、±50%程度の平均的な差異を有しているのが一般的とされている。したがって、分布型流出モデルによる流出解析への入力降雨情報として利用するには、

計算流出量の評価精度に問題を含むことが予想される。そこで、入力降雨系列にレーダメッシュ雨量値を用いた流出解析との比較検討を行うための基礎的資料を得ることを目的に、前報³⁾では流域内での転倒桁型雨量計による地点雨量データを活用した分布型流出モデルへの入力降雨系列の算定法について検討した。しかし、前報²⁾³⁾では斐伊川水系のように流域内に空間的な降雨分布が認められる流域を対象として、貯留分布型流出モデルあるいは定数分布型流出モデルによる流出解析法を提示したものの、出水観測事例への適応性については未検討であった。本報告では、前報²⁾で提示した定数分布型 KiWS モデルを用いて流域内の降雨分布特性を組込んだ流出解析を行い、本流出モデルの同定とその適用性について若干検討した結果を述べる。

1. 集中定数型 KiWS モデル

現在、わが国で常用されている代表的な分布型流出モデルとして、雨水流モデルがある。本流出モデルでは、流域特性に応じて流域をいくつかの単位流域に分割し、次いで各単位流域を河道長を一边とする矩形にモデル化した流域モデルを構成した後、流域モデルの斜面域における表面流、中間流及び河道部の河道流が次式に基づいて追跡される。

斜面域 (表面流) :

$$h = kq^p \dots\dots\dots (1)$$

$$h / t + q / x = r_e \dots\dots\dots (2)$$

斜面域 (中間流) :

$$q_i = k_i s H \dots\dots\dots (3)$$

$$(\lambda H) / t + q_i / x = r_e \dots\dots\dots (4)$$

河道部 (河道流) :

$$W = KQ^p \dots\dots\dots (5)$$

$$W / t + Q / x = I \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 h : 表面流の水深 (m), q : 斜面単位幅流量 (表面流) (m^2/s), r_e : 有効降雨強度 (mm/h), q_i : 斜面単位幅流量 (中間流) (m^2/s), k_i : 表層の透水係数 (cm/s), s : 斜面勾配, H : 表層内の見かけの水深 (m), λ : 表層の有効間隙率, W : 河道流水断面積 (m^2), Q : 河道流量 (m^3/s), I : 河道単位長さ当たりの横流入量 (m^2/s), t : 時間 (s), x : 距離 (m), k, p : 斜面流定数, K, P : 河道流定数である。

一方、短期流出と長期流出が同時に解析できる貯留型流出モデルとして、長短期流出両用モデル (LST - II モデル) が提案され、実用に供されている⁴⁾。本流出モデル

は、菅原のタンクモデルに内在する問題点を改良するとともに、表面流出及び早い中間流出の両成分を構成する降雨分を長期流出モデルに分類される補給能モデルの特性を組み込んで算定する手法がとられている。

図 - 1 は、集中定数型 KiWS モデルである³⁾。本流出モデルは、上述の雨水流モデルと長短期流出両用モデルを統合して、流出過程の物理機構を考慮しつつ、かつ直接流出成分となる降雨分、すなわち有効雨降雨が長短期流出両用モデルのモデル構造を介して自動的に算定できるように構築した流出モデルである。

図 - 1 に示す集中定数型 KiWS モデルのモデル定数は以下のように定義している。

a_1 : 雨水流モデルの (1) 式で定義されている斜面流定数 $k = (N/\sqrt{s})^p (m^{-1/5} \cdot s^{3/5})$ (N : 等価粗度 ($m^{-1/3} \cdot s$), s : 斜面勾配), a_2, a_3 : 中間流モデルの定数 $k_i \cdot s / \lambda$ (k_i : 表層の透水係数 (cm/s), λ : 表層の有効間隙率) に対応する定数 (cm/s), a_4, a_5 : 帯水層の斜面方向の透水係数, 動水勾配に規定される定数 (cm/s) b_1, b_2, b_3 : 鉛直方向の浸透量を規定する定数 (cm/s)。

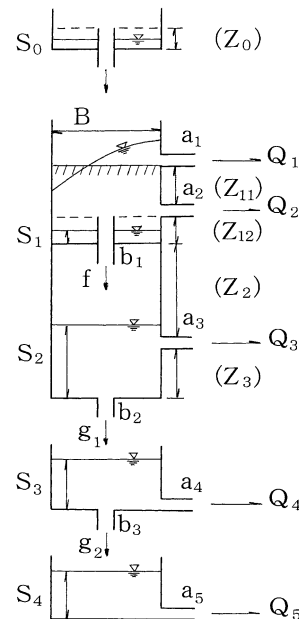


図 - 1 定数集中型 KiWS モデル

これらのモデル定数を用い、第1段タンク下層部及び第2,3 タンクの流出高、浸透能、浸透高は次式で算定される。

流出高 :

$$Q_3 = \alpha \cdot a_3 (S_2 - Z_3) \quad (\text{for } S_2 > Z_3) \dots\dots\dots (7)$$

$$Q_4 = \alpha \cdot a_4 S_3 \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_5 = \alpha \cdot a_5 S_4 \dots\dots\dots (9)$$

浸透能 :

$$f = \alpha_* \cdot b (Z_2 + Z_3 - S_2) \dots\dots\dots (10)$$

浸透高：

$$g_1 = \alpha_* \cdot b_2 S_2 \dots\dots\dots (11)$$

$$g_2 = \alpha_* \cdot b_3 S_3 \dots\dots\dots (12)$$

また各段タンクにおける連続の式は次式で与えられる．

連続の式：

$$dS_2/dt = f - Q_3 - g_1 \dots\dots\dots (13)$$

$$dS_3/dt = g_1 - Q_4 - g_2 \dots\dots\dots (14)$$

$$dS_4/dt = g_2 - Q_5 \dots\dots\dots (15)$$

ここに、 Q_3 は遅い中間流出、 Q_4 と Q_5 は地下水流出を想定する． $S_0 \sim S_4$ ：貯留量 (mm), $Z_0 \sim Z_3$ ：流出孔の高さ (mm), f ：浸入能 (mm/h), g_1 及び g_2 ：浸透高 (mm/h), t ：時間 (h) である． $\alpha_* = \alpha_s/B$, B ：平均斜面長 (m), α_s ：換算係数で計算単位時間を Δt 秒としたとき $\alpha_s = \Delta t \times 10^{-2}$ 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．

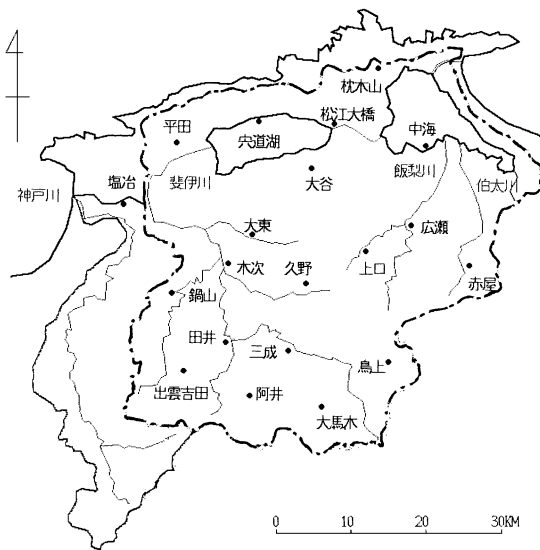


図-2 斐伊川水系と雨量観測所の配置状況 (国土交通省中国地方整備局の提供、一部加筆)

2. 分布定数型 KiWS モデル

前報²⁾³⁾では、上述の集中定数型 KiWS モデルを活用した分布定数型 KiWS モデルを提案し、その解析手順を示した．

以下に、斐伊川水系大津集水域 (集水面積 = 911.4 km²) を対象流域として、流域モデル、入力降雨系列の算定手順及び分布定数型 KiWS モデルの概略を示す．

1) 流域モデルの設定

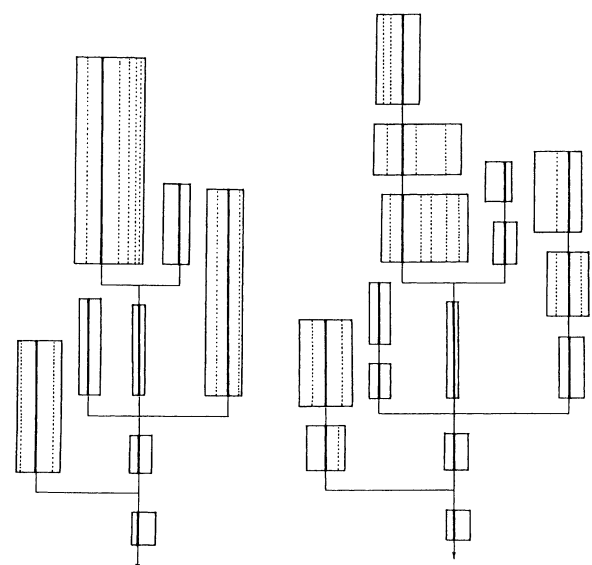
斐伊川水系の河道網及び国土交通省中国地方整備局出

雲工事事務所で設置・管理されている転倒ます型雨量計の配置図を図-2に示す．なお、同図に示す河道網はレーダ雨量データ処理システムの端末ディスプレイに表示される斐伊川水系の河道網である．図-3(a)は、図-2に示す河道網の1次河道の集水域を単位流域として8ブロックの矩形集水域で構成される流域モデル (Type 1) である．なお、同図の各ブロック斜面域を点線で示すように、河道までの距離に応じていくつかの領域に区分して構成した流域モデルを Type 2 とする．

しかし、斜面域を細分化した Type 2 の流域モデルにおいても、河道長が長いブロックでは、河道沿いの時空間的降雨分布特性が計算流出量に十分反映できないことが予想される．そこで、河道長が長いブロックに対しては、河道次数等を基準にしながら河道を上流部、中流部、下流部に3分割ないしは上流部、下流部に2分割し、図-3(b)に示すような Type 3 の流域モデルを構成する．従来、雨水流モデルの適用の際、流出計算単位時間毎に、斜面域に一樣に流域平均有効雨量を入力するという手法が用いられることと比較し、この Type 3 の流域モデルでは、各斜面域の区分領域毎に入力降雨系列を与えて流出計算を行うことにより、流域内のよりきめ細かな時空間的降雨分布特性を上述の分布型 KiWS モデルに反映させることが可能となる．

2) 定数分布型 KiWS モデルへの入力降雨系列

定数分布型 KiWS モデルでは、図-3(a)あるいは(b)に示す流域モデルの各ブロック斜面区分領域への入力降



(a) Type 1 (Type 2) (b) Type 3

図-3 分布型流域モデル (斐伊川水系大津集水域)

雨系列を予め算定しておく必要がある．その場合，以下の①あるいは②のいずれかの算定法を適用する．

①：レーダ雨量計による降雨情報に基づき，各ブロック斜面域の区分領域内に包含されるレーダメッシュ雨量の平均値を流出計算単位時間毎に算定した降雨系列．

②：流域内に配置された転倒ます型雨量計による地点観測雨量データから算定した流出計算単位時間毎のメッシュ雨量値に基づく各ブロック斜面域の区分領域毎の降雨系列．

図-4は，1999年9月24日に台風18号が斐伊川水系を通過したときの午前11時30分のレーダ雨量画像例である．1.5km×1.5kmメッシュでのレーダ雨量を2～5，5～10，10～20，20～30，30～40，40～50，50～70，70～100，100 (mm/h)以上の9階級の降雨強度に区分し，対応する階級1～9で表示してある．同画像は本流域全域が雨域で覆われて最も降雨量の多い時間帯のものである．

一方，図-2には，斐伊川水系の河道網とともに，雨量観測所名が併記してあるが，大津地点を集水域とする流域内には，鳥上，大馬木，三成，阿井，田井，久野，木次，出雲吉田，鍋山，大東の計10ヶ所で雨量観測が行われており，これら地上雨量計による午前11～12時の雨量は，14～38mm，10観測所の平均時間雨量が25mmと観測されている．この時間帯において，レーダ雨量画像の大津集水域では，11時に雨量階級1(2～5mm/h)から6(40～50mm/h)の範囲，11時30分に雨量階級2(5～10mm/h)から8(70～100mm/h)の範囲，12時に雨量0mmから雨量階級6(40～50mm/h)の範囲で空間的な降雨分布特性が示されている．図-4に示す観測所におけるレーダ雨量画像では端末に表示される時刻より5分前からの

5分間加重平均値として各メッシュ雨量値が表示されていることから，この観測例から推定されるように，30分毎のレーダ雨量値を時間雨量に換算して流出モデルへの入力降雨量として用いることには難点があると思われる．しかし，レーダ雨量計によるレーダメッシュ時間雨量値の評価精度を十分検討するに至らなかったため，ここでは，後者の②による降雨系列を流出解析に利用することとした．後者の②による降雨系列の算定手順は，以下の(i)～(iv)の手順により行う．

(i) まず，図-5のように対象流域をレーダ雨量情報が得られる領域と同じく，1.5km×1.5kmメッシュの方眼で覆う．

(ii) 図-5に示すように流域内で3地点以上の地点観測雨量データが得られる場合，隣接する雨量観測地点を互いに結ぶ直線によって三角網をつくり，流域を各三角形内の領域及び流域界で囲まれた三角網の周辺域に流域を分割する．

(iii) さらに，三角網の周辺域は，流域特性を考慮していずれかの三角形に付随するように領域区分する．

(iv) そして，図-6に示すように，いま任意の三角形を構成する3地点 (x_1, y_1) ， (x_2, y_2) ， (x_3, y_3) の雨量を r_1, r_2, r_3 とすれば，3地点で囲まれる領域内あるいは，その三角形に付随する周辺域内のメッシュ地点 (x_{ij}, y_{ij}) の雨量 r_{ij} は，3点 (x_1, y_1, r_1) ， (x_2, y_2, r_2) ， (x_3, y_3, r_3) を通る平面の方程式によって，次式で与えられるものとする．

$$r_{ij} = (a_1 r_1 + a_2 r_2 + a_3 r_3) / a_0 \dots\dots\dots (16)$$

ここに， $a_0 = x(y_2 - y_3) + x(y_3 - y_1) + x(y_1 - y_2)$ ，

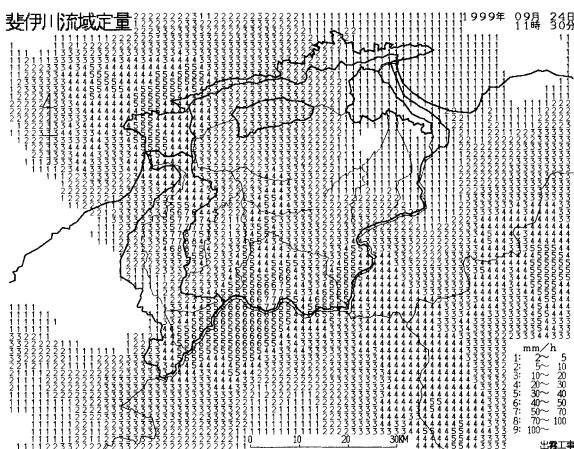


図-4 斐伊川水系のレーダ雨量画像
(1999年9月24日11時30分)
(国土交通省中国地方整備局の提供)

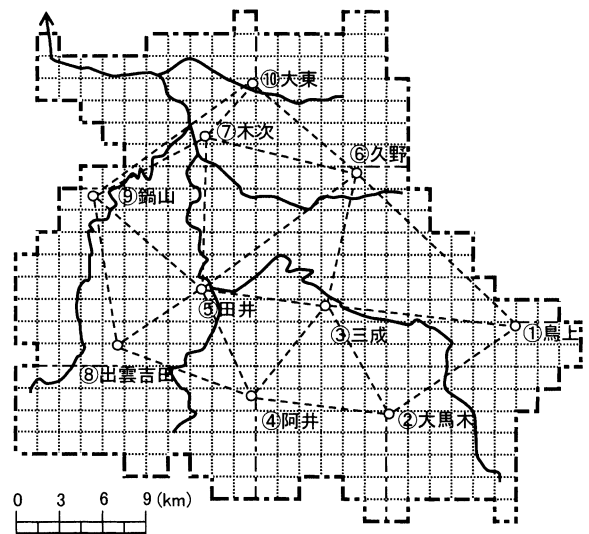


図-5 雨量観測点で構成される三角網と流域区分

$$a_1 = x_i(y_2 - y_3) + x_j(y_3 - y_{ij}) + x_k(y_{ij} - y_2)$$

$$a_2 = x_i(y_3 - y_1) + x_j(y_{ij} - y_3) + x_k(y_1 - y_{ij}),$$

$$a_3 = x_i(y_1 - y_2) + x_j(y_2 - y_{ij}) + x_k(y_{ij} - y_1)$$

(v) 分布型流域モデルの各区分斜面域への入力降雨系列は、各区分斜面域のメッシュ雨量 r_{ij} の算術平均によって算定する。

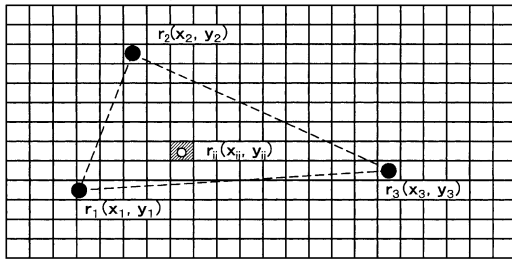


図 - 6 メッシュ雨量値 r_{ij} の算定

3) 定数分布型 KiWS モデルとモデル定数

図 - 1 に示す集中定数型 KiWS モデルを横にいくつか連結し、流域斜面域の雨水伝播過程を表現しようとした流出モデルの概念図を図 - 7 に示す。その際、集中定数型 KiWS モデルの連結数は、図 - 3 の流域モデルの各ブロック斜面域の分割区分数とする。図 - 7 は、集中定数型 KiWS モデルの第 1 段タンク上層部を 5 個連結した場合のモデル構造を示している。なお、第 1 段タンク下層部及び第 2, 3 段タンクは図 1 に示すモデル構造をそのまま利用している。

このように、定数分布型 KiWS モデルは雨水流モデルと角屋・永井の提案による長短期流出両用モデル (LST - II モデル) を統合した分布型の流出モデルである。すなわち、図 - 7 に示すように、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。

図 - 7 に示す定数分布型 KiWS モデルのモデル定数も、図 - 1 の集中定数型 KiWS モデルのモデル定数と同じ定義で与えられることとなる。ただし、図 - 1 の集中定数型 KiWS モデルの流域平均斜面長 B は、定数分布型 KiWS モデルでは、図 - 3 の流域モデル (Type 2, 3) のように流域斜面域を複数の区分領域に分割する場合、各区分領域毎の斜面長 B_i で置き換えられる。

なお、流出モデルの最適同定には、永井・角屋により開発された数学的最適化手法の一種である基準化パウエル法 (SP 法) を適用する。

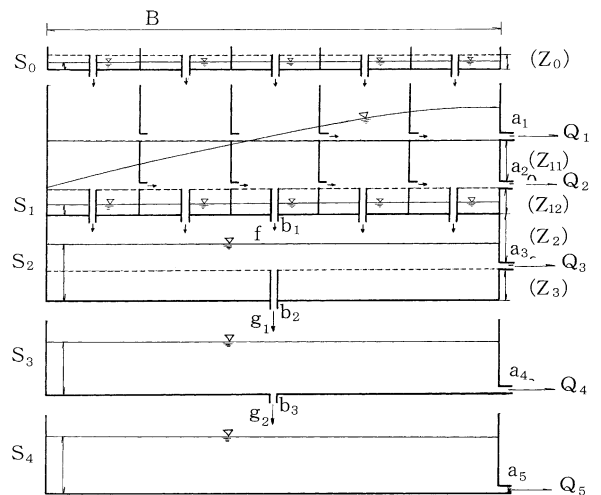


図 - 7 定数分布型 KiWS モデル

モデル定数の最適値探索に際しての評価基準には、次式に示す χ^2 基準を採用する。

$$J_{XS} = \frac{1}{M} \sum \left(\frac{Q_{ci} - Q_{oi}}{Q_{oi}} \right)^2 \dots \dots \dots (17)$$

ここに、 J_{XS} : χ^2 誤差評価基準、 Q_{oi} : 観測流量、 Q_{ci} : 計算流量、 M : データ数、

なお、次式で与えられる相対誤差 J_{RE} (%) を算定することにより、観測ハイドログラフの再現性の程度が直感的に理解できるようにした。

$$J_{RE} = \frac{1}{M} \sum \frac{|Q_{ci} - Q_{oi}|}{Q_{oi}} \times 100 \dots \dots \dots (18)$$

3. 集中定数型 KiWS モデルの適用例

斐伊川水系大津地点 (集水面積: 911 4km²) で観測された 1983 年 9 月出水を解析対象とする。本流域内の各雨量観測所で観測された総雨量の平均値は 227mm (ティーセン法)、また時間最大雨量 23mm (田井雨量観測所) である。なお、大津地点での観測ピーク流量 1481m³/s (ピーク流出高 5.85mm/h) が 9 月 15 日午後 3 時に観測されている。

(1) 流出計算条件

集中定数型 KiWS モデルへの入力降雨は、ティーセン法を適用して算定した 1 時間毎の流域平均降雨量系列を用いた。また、流域平均斜面長 $B = 10,540$ m とし、斜面流追跡単位時間は 1800 秒とした。図 - 1 に示す $a_1 \sim a_5$, $b_1 \sim b_3$, $Z_{11} \sim Z_3$, $S_1 \sim S_4$ の 16 個のモデル定数を探索すべきモデル定数とした。

(2) 適用結果

図 - 8 に定数集中型 KiWS モデルの適用例を示す．計算ピーク流量は $1370\text{m}^3/\text{s}$ と観測ピーク流量 $1481\text{m}^3/\text{s}$ よりやや過小評価されているものの、ピーク流量発生時刻は観測値と一致した結果となっている．同図に併示する観測流出ハイドログラフの再現性は (17) 式で算定される評価基準 $J_{xs} = 0.015$ (mm/h), 相対誤差で 8.1% と、良好な結果となっている．なお、流出高 5.0mm/h 以上の出水ピーク部の観測ハイドログラフの再現性は相対誤差で 5.6% と評価されている．また、最適同定された集中定数型 KiWS モデルのモデル定数等を表 - 1 の第 2 欄に示す．表面流出モデルの斜面流定数 k に対応するモデル定数 a_1 は 1.2 ($\text{m}^{-1/5} \cdot \text{s}^{3/5}$), 中間流出モデルのモデル定数 k_{is}/γ に対応する a_2 は 12.6 (cm/s) と評価されている．

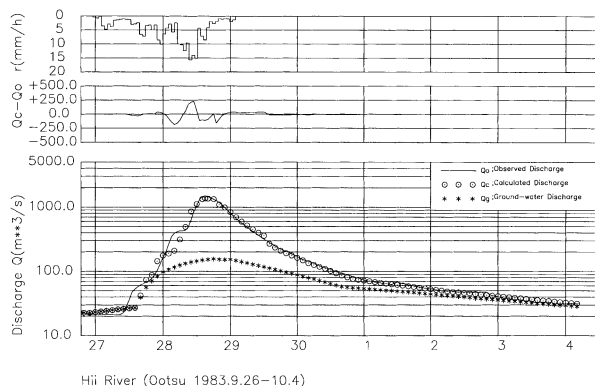


図 - 8 定数集中型 KiWS モデルの適用例

表 - 1 流出モデル定数 (大津集水域)

モデル定数	KiWS モデル	
	集中定数型	分布定数型
集水域	大津	大津
a_1 ($\text{m}^{-1/5} \cdot \text{s}^{3/5}$)	1.2	1.4
a_2 (cm/s)	12.6	3.0
a_3 (cm/s)	2.4	2.4
a_4 (cm/s)	1.29	2.20
a_5 (cm/s)	0.027	0.025
b_1 (cm/s)	24.0	21.7
b_2 (cm/s)	6.3	3.8
b_3 (cm/s)	4.8	2.9
Z_{11} (mm)	6	2
Z_{12} (mm)	4	9
Z_2 (mm)	80	65
Z_3 (mm)	20	20
J_{xs} (mm/h)	0.015	0.023
J_{re} (%)	8.1	15.0
t_{pc}	15:00	15:00
t_{po}	15:00	15:00
Q_{pc} (m^3/s)	1370	1295
Q_{po} (m^3/s)	1481	1481
B (m)	10,540	-

4. 分布定数型 KiWS モデルの適用例

図 - 7 に示す分布定数型 KiWS モデルの適用に際し、予め流域モデルを設定しておく必要がある．ここでは、図 - 3 (b) に示す分布型流域モデルを用いることにする．

同モデルは 15 個のブロックからなり、各ブロック左右岸の斜面域は、斜面長に応じていくつか領域に区分されており、この区分領域の総数は 47 である．本流域モデルの各ブロックの平均河道長は 10.1km, 最大河道長は 15.7 km, 最小河道長は 5.0km である．また、各ブロックの斜面区分領域の面積は、平均値 19.4km², 最大値 42.8km², 最小値 5.5km², 斜面区分領域の平均斜面長は 1.96km, 最大斜面長 4.90km, 最小斜面長は 0.77km となっている．

分布定数型 KiWS モデルによる流出解析では、前述 (16) 式で算定されるメッシュ雨量に基づき、この 47 個の区分領域毎に当該領域内の平均メッシュ雨量値による降雨系列を本流出モデルへの入力降雨系列として用いる．1983 年 9 月出水時の地点降雨データから算定した各斜面区分領域の総雨量は最大で 244.6mm, 最小 163.1mm, 平均で 216mm であった．また、最大時間雨量は 22.6mm/h が推定されている．

(1) 流出計算条件

流域モデル斜面域での斜面流は表面流と中間流が併存するものとして、前述の (1)~(4) 式に基づいて雨水流出の追跡計算を行う．この場合、斜面流の計算単位時間は 1800 秒とし、また (5)~(6) 式に基づく河道流計算の単位時間は 600 秒とした．また、厳密には流域の土地利用形態を加味して、各ブロック毎のモデル定数を探索すべきであるが、ここでは集中定数型 KiWS モデルと同様に、 $a_1 \sim a_5$, $b_1 \sim b_3$, $Z_{11} \sim Z_3$, $S_1 \sim S_4$ の 16 個のモデル定数を探索すべきモデル定数とした．すなわち、流域一様なモデル定数としての解析となる．

(2) 適用結果

定数分布型 KiWS モデルを前述の 1983 年 9 月出水に適用した例を図 - 9, 10 に示す．図 - 9 は、大津地点での観測ハイドログラフとの比較図であり、観測ピーク流量 $1481\text{m}^3/\text{s}$ に対し、計算ピーク流量が $1295\text{m}^3/\text{s}$ と過小評価され、観測ハイドログラフの再現性も相対誤差 15.0% と前述の集中定数型 KiWS モデルの適用例と比較し、やや低下した結果となっている．本解析例で得られたモデル定数等を表 - 1 第 3 欄に示す．表面流出モデルの斜面流定数 k に対応するモデル定数 $a_1 = 1.4$ ($\text{m}^{-1/5} \cdot \text{s}^{3/5}$), 中間流出モデルのモデル定数 k_{is}/γ に対応する $a_2 = 3.0$ (cm/s) と評価され、

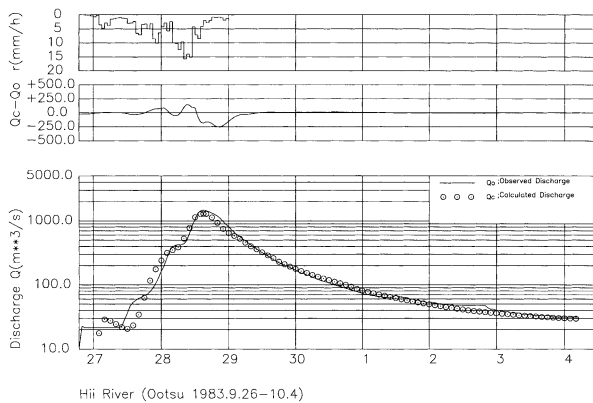


図 - 9 定数分布型 KiWS モデルの適用例
(観測ハイドログラフとの比較)

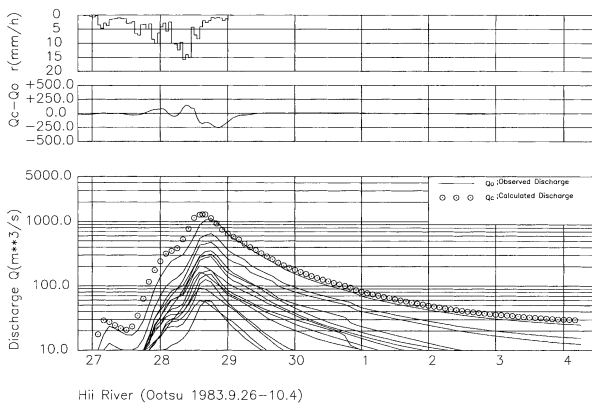


図 - 10 定数分布型 KiWS モデルの適用例
(各ブロック下流端での計算ハイドログラフ)

前述の集中定数型 KiWS モデルのモデル定数との差異が指摘できる。また、他のモデル定数も集中定数型 KiWS モデルとは異なった結果となっている。これは、集中定数型 KiWS モデルは、流域モデルを最もランピングした斜面域でのモデル定数として評価されているのに対し、本解析例では、図 - 3 (b) に示す 15 ブロックから構成される分布型流域モデルの斜面域でのモデル定数として算定されていることに起因している。すなわち、流域モデル構成の精粗による影響が反映された結果と理解できる。もっとも、本解析例は、流域一様なモデル定数を仮定しての同定結果であるため、今後は流域の土地利用形態等を加味したモデル定数の評価が可能となる同定手法の検討が課題といえる。

また図 - 10 は 15 個の流域ブロック下流端での計算ハイドログラフを全て図示したもので、同図から流域上流部から下流部までのピーク流量の推移及び出水波形の特徴等の比較検討が容易に可能となる。

流出解析に用いた流域モデル Type 3 は、総計 47 の斜面

区分領域で分割されており、図 - 11 に上記解析例における各斜面区分領域の総雨量、総雨水保留量及び総有効雨量を示す。流域平均の総雨量、総雨水保留量、総有効雨量はそれぞれ、216、153、63mm と推定されている。

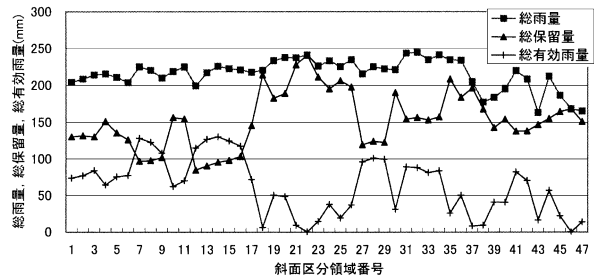


図 - 11 各斜面区分領域の総雨量、総有効雨量、及び総雨水保留量

また、各斜面区分領域の流出率 (= 総有効雨量 / 総雨量) を図 - 12 に示す。斜面区分領域番号 12 の流出率が最大で 57.5% となっており、上流部の 8 つの斜面区分領域で流出率が 50% 以上となっている。なお、同図で、流出率が零ないし数% ~ 10% 以下となっている区分領域があるがこれは当該区分領域の斜面長が短く、かつ下層への浸透が卓越し、表面流出及び早い中間流出に關与する降雨分がなかったことに起因している。

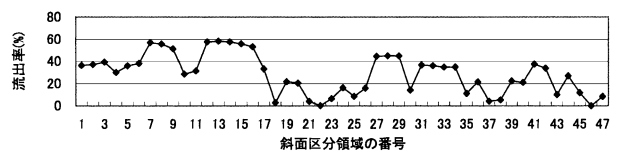
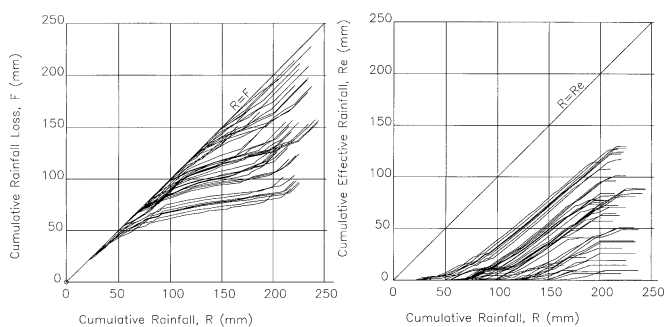


図 - 12 各斜面区分領域の流出率
(= 総有効雨量 / 総雨量)

さらに、図 - 13 には、各斜面区分領域における雨水保留量曲線及び累加雨量 ~ 累加有効雨量曲線を示す。従来、雨水流法で流域一様な降雨波形を入力降雨系列として解析する場合、流域平均値としての単一曲線で表示されていた雨水保留量曲線及び累加雨量 ~ 累加有効雨量曲線が同図に示すように、流域内の降雨分布特性を反映した曲線群の形成となっている。むしろ、本流出モデルでは、流域一様な降雨波形を入力降雨系列を与えた場合でも、各斜面領域の土地利用形態に応じたモデル定数を与えることにより、図 - 13 と同様な曲線群を得ることができる。しかし、流域内の降雨分布が一様でなく、顕著な時空間的降雨分布特性がみられる流域では、流域一様な降雨波形を入力降雨系列として与えた解析結果から得られる雨水保留量曲線及び累加雨量 ~ 累加有効雨量曲線の妥当性には問題が残るといえる。したがって、斜面区分領域毎



(a) 雨水保留量曲線 (b) 累加雨量～累加有効雨量曲線

図 - 13 各斜面区分領域における雨水保留量曲線
及び累加雨量～累加有効雨量曲線

の有効降雨が自動的に算定できるという本流出モデルの特徴を活かし、流域内の時空間的降雨分布特性を斜面区分領域への降雨系列に反映するという本解析法がより合理的な手法と考えられる。もっとも、この場合でも各斜面領域の土地利用形態に応じたモデル定数の合理的な評価法を組込んだ検討が課題となる。

なお、計算単位時間毎に、メッシュ雨量値から算定される流域一様な入力降雨を用いた場合、本出水例では流域下流域の入力降雨が過大に与えられることに起因して、流域最下流端でのピーク流量が増大する結果となった。

あ と が き

今後さらに各種の出水に適用しながら、流出モデル定数の同定について検討の余地等があるものの、ここで示

した定数分布型 KiWS モデルによる流出解析例により、流域内の降雨分布特性を反映した流出解析が可能であることが実証できたといえる。そして、本流出モデルの適用例は、前述の定数集中型 KiWS モデルのモデル定数との比較検討、あるいは本研究目的に沿った検討を展開する上において、有用な情報を提供しうる内容を含んでいるものと考えている。

引用文献

- 1) 小林和行・上月良吾・瀧川拓哉：健全な水循環系構築に向けた農業水利施策の展開方向，農土学会誌，68 (2)，pp 3-8 (2000)
- 2) 福島 晟・武田育郎・森 也寸志：流域内の降雨分布特性を組み込んだ洪水流出解析法，島根大学生物資源科学部研究報告，5，pp 27-35 (2000)
- 3) 福島 晟・武田育郎・森 也寸志：地点雨量データを活用した分布型流出モデルへの入力降雨系列の算定，島根大学生物資源科学部研究報告，6，pp 41-46 (2001)
- 4) 角屋 睦・永井明博：長短期流出両用モデルの開発改良研究，農業土木学会論文集，136，pp 31-38 (1988)
- 5) 福島 晟・武田育郎・森 也寸志：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，島根大学農学部研究報告，29，pp 23-29 (1995)
- 6) 角屋 睦・永井明博：流出解析法(その12) - タンクモデルと SP 法による最適同定，農土学会誌，48(12)，pp 51-59 (1980)