

Bull. Fac. Life Env. Sci. Shimane Univ., 6 : 41 - 46, December 20 2001

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

福島 晟・武田育郎・森 也寸志

Calculation of Input Rainfall Sequence to the Distributed Runoff Model using Point Rainfall Data

Akira FUKUSHIMA, Ikuo TAKEDA and Yasushi MORI

Abstract This study aims to propose a procedure of a flood runoff analysis by the distributed runoff model using point rainfall data which are observed by the rain gages of tipping-bucket type. The previous study proposed two runoff routing models. The first one is a modified model from the Long- and Short-Terms Runoff Model (LST-II model). The other is developed for the Kinematic Wave Storage Model (KiWS model). The proposed models have the advantage of possibility as a practical one to analyze a runoff phenomena considering the spatially distributed precipitation measured by radar rainfall measurement system. The present study is taken into account for the input rainfall sequence calculated at the the grid cell, in which the observed ground rainfall data in the watershed are converted to mesh data on the plane constructed by triangle network. In the same manner as the runoff analysis by the distributed model using radar rainfall data, it is shown that the runoff analysis is possible by applying the proposed input rainfall sequence to the previous runoff model proposed as the distributed type of KiWS model.

Key word: point rainfall, runoff model, runoff analysis

まえがき

従来の分布型流出モデルによる洪水流出解析では、流域平均雨量を入力降雨として雨水流モデルあるいは貯留関数法の適用が行われてきたが、現在では集中豪雨のような局地的な上に短時間に急変する降雨情報を分布型流出解析法に組み込むことの検討が可能となってきた。すなわち、レーダ雨量計情報を活用した水文観測システムが日本全国すべてを覆うように整備され、流域内の降雨域の移動、成長、減衰の様子が定量的に把握できるようになったことから、いわゆる降雨の時空間的分布特性を分布型流出モデルへの入力情報として反映させうる洪水流出解析法の開発・検討が可能となる環境が整ってきたといえる。

そして、レーダによる観測降雨情報を活用した洪水予測システムの構築が注目されている。たとえば、気象庁では、山崩れ、がけ崩れの予測精度を向上させるために、「タンクモデル」と「レーダ・アメダス解析雨量」を組み合わせ、土壌水分量から土砂災害の危険度を見積もる「土

壤雨量指数」を開発し、これを大雨注意報・大雨警報の発表基準に活用している¹⁾。また、レーダ雨量データを活用し、国土地理院発行の数値地図に基づく疑似河道網と修正合理式を用いた流出解析法が検討され、洪水予測支援システムの開発が進められている²⁾。

前報³⁾では、こうした背景を踏まえ、レーダ雨量計で観測される流域内の降雨情報を活用した中小河川流域、あるいは河川上流域での洪水予測システムを構築することを基本目標に着手した検討の一部を報告した。もっとも、レーダ雨量計によるレーダメッシュ時間雨量値は、メッシュ直下の単独の地上転倒ます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⁴⁾。したがって、現時点では、レーダ雨量計による面積雨量評価精度に問題が残されているといえ、この点は洪水流出予測精度に関係することにもなる。

そこで、本報告では分布型流出モデルへの入力降雨系列の算定に流域内での地点雨量データを活用した手法を導入した流出解析を行い、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若干検討したことを述べる。

1 分布型流出モデルへの入力降雨系列

図1は、斐伊川水系において、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による雨量観測所の配置図である。また、出雲工事事務所では、図2に示すような1.5km×1.5kmメッシュレーダ雨量データの画像がコンピュータ端末に表示できるシステムが完備している。なお、図2には、大津地点を集水域とする流域界が一点鎖線で挿入してあり、同集水域では10ヶ所の地上雨量データが収集される観測網となっている。

図3は、斐伊川水系大津集水域における5出水について、同集水域内の10地点で観測された出水時の総雨量を比較したものである。従来、洪水流出解析に用いる入力降雨としては、多地点の地上観測雨量情報からティーセン法等を適用し、流出計算単位時間毎の流域平均雨量を算定、次いで流出モデルへの入力降雨となる有効降雨系列を予め求めておく手法が常用されてきた。

しかし、図3に示すように、流域内に空間的な降雨分布が認められる流域においては、分布型流出モデルへの入力降雨系列に、流域平均雨量を用いる従来の手法の妥当性を検討する余地があるように思われる。

なお、前報³⁾で提示した分布型KiWSモデルでは、そうした流域内の降雨分布特性を考慮した分布型流出モデルによる流出解析が可能である。

ここでは、分布型流出モデルへの入力降雨系列算定法として、以下の①あるいは②のいずれかの算定法を適用する。なお、これら降雨系列は、後述2.で設定する分布型流域モデルにおいて、各ブロック斜面域の区分領域毎の入力降雨系列として利用することになる。

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を利用してメッシュ雨量値を流出計算単位時間毎に算定した降雨系列。

ここで、後者の②による降雨系列の算定は、以下の(i)～(iv)の手順により行う。

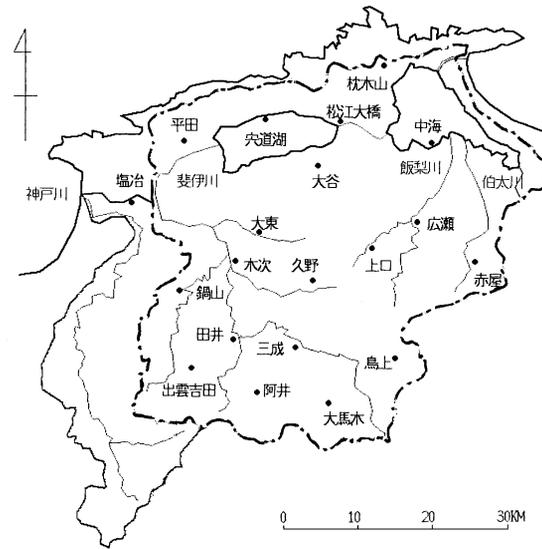


図1 斐伊川水系の雨量観測所の配置 (国土交通省中国地方整備局の提供)

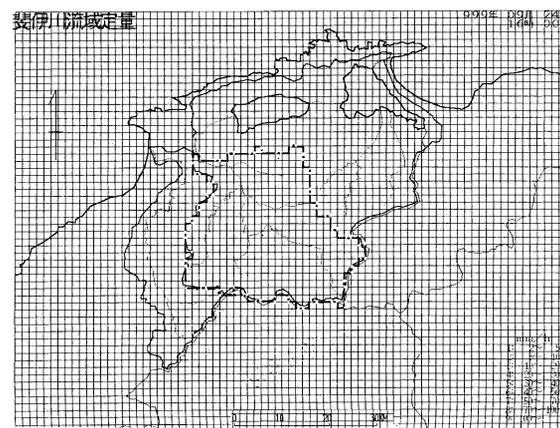


図2 斐伊川水系のレーダ雨量画像 (国土交通省中国地方整備局の提供)

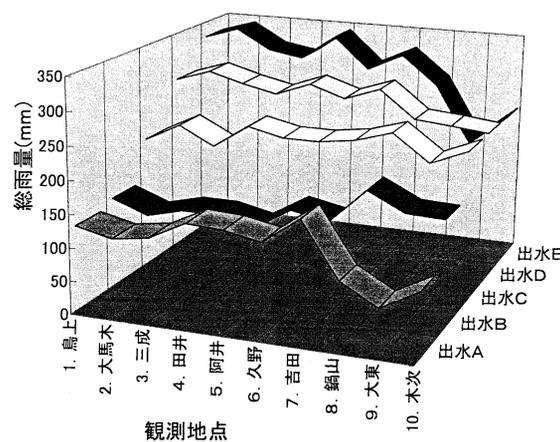


図3 多地点の観測総雨量の比較

(i) まず、図4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。

(ii) 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。

(iii) そして、図5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。

$$r_{ij} = (c_1 r_1 + c_2 r_2 + c_3 r_3) / c_0 \dots (1)$$

ここに、 $c_0 = x(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)$

$$c_1 = x_{ij}(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_{ij}) + x_3(y_{ij} - y_2)$$

$$c_2 = x_{ij}(y_3 - y_1) + x_3(y_{ij} - y_1) + x_1(y_1 - y_{ij})$$

$$c_3 = x_{ij}(y_1 - y_2) + x_1(y_2 - y_{ij}) + x_2(y_{ij} - y_1)$$

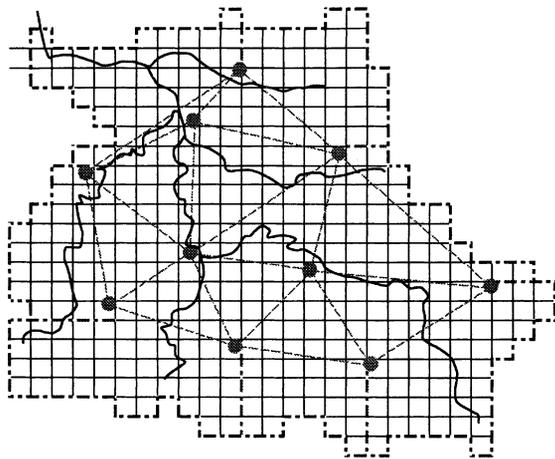


図4 雨量観測点で構成される三角網と流域区分

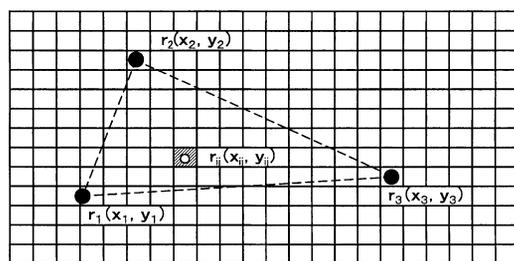


図5 メッシュ雨量値 r_{ij} の算定

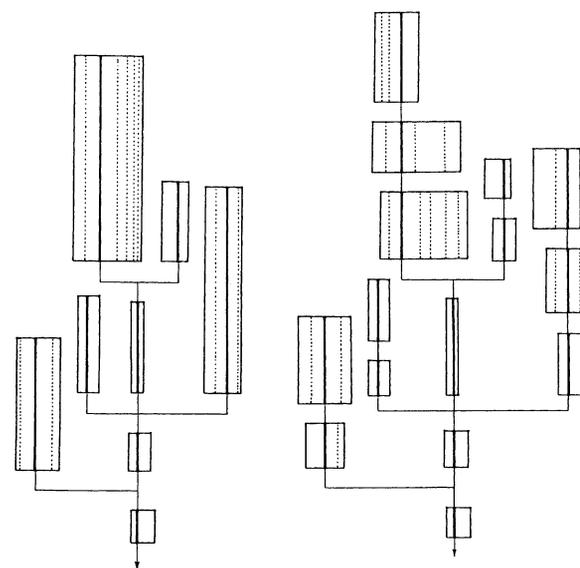
(iv) 分布型流域モデルの各区分斜面域への入力降雨系列は、各区分斜面域のメッシュ雨量 r_{ij} の算術平均によって算定する。

2 分布型流域モデルの設定

斜面系と河道系から構成される分布型流域モデルを以下のように設定する。レーダによる観測降雨情報の提供の際に設定される $1.5\text{km} \times 1.5\text{km}$ メッシュ、 $2.5\text{km} \times 2.5\text{km}$ メッシュ、あるいは $5\text{km} \times 5\text{km}$ メッシュのいずれかで解析対象流域を分割し、1メッシュ分で囲まれた領域を1セルとする。次いで、解析対象流域のメッシュ図上で河道部を抽出し擬似河道網を設定する。そして、ここでは、分布型流出モデルに反映させる斜面系及び河道系として、以下に示すの評価法を適用し、入力降雨の空間スケールと流出生起場スケールとの関連を議論するに際しての基礎資料を得ることとする。

まず、国土地理院発行の地形図等に記載の河道網、または一定の基準で評価された河道網を河道次数の概念を用いて次数化する。次いで、ある次数の集水域を単位流域とする流域分割するとともに、各ブロック斜面域を上述の流域メッシュスケールを勘案しながら1~複数個の領域に分割する。

また、各ブロックを河道長に応じてさらに上流、中流、下流部の3分割、あるいは上流、下流部の2分割して構成される分布型流域モデルを設定する。図6に、斐伊川



(a) Type 1 (Type 2)

(b) Type 3

図6 分布型流域モデル (斐伊川水系大津集水域)

流域の1/20万地形図に記載の河道網に基づき、設定された分布型流域モデルの例を示す。図6(a)は、1/20万地形図に記載の1次河道を単位流域として流域分割した流域モデルであり、また図6(b)は、上述の評価法により斜面域及び河道部を評価した流域モデルである。この図6(b)に示す流域モデルでは、地形図に記載の1次河道を単位流域として設定される図6(a)の流域モデルと比較し、流域内のよりきめ細かな時空間的降雨分布特性を分布型流出モデルに反映させることが可能となる。

3 分布型流出モデル

流域内の降雨の時空間的分布特性を計算単位時間毎に反映させる洪水流出解析法を検討する過程で、2種類の分布型流出モデルを構築してきた³⁾。すなわち、その一つは、角屋・永井[1988]によって開発された長短期流出両用モデル(LST IIモデル)³⁾を活用した分布型流出モデルで、他の一つは著者ら[2000]による雨水流モデルとLST IIモデルを統合したKiWSモデル(Kinematic Wave Storage Model)を拡張して構築したものである。

流域の斜面系における両流出モデルのモデル構成の概要は以下のとおりである。なお、流域の河道系においては、雨水流モデルの河道流計算法を適用することとする。

(a) 分布型流出モデルI ; 本流出モデルは農地造成畑地に適用することを意図して提案した流出モデルで、角屋・永井の長短期流出両用モデルを基礎にした分布貯留型流出モデルである。本流出モデルには、造成畑地における24時間容水量と等価な表層土壌の保水量ないし流域表層部の雨水保留量が組み入れてある。

(b) 分布型流出モデルII ; 図7は、図8に示す集中定数型KiWSモデルを連結し、流域斜面域の雨水伝播過程を表現しようとしたもので、図8の流出モデルの第1段タンク上層部を5個連結した場合のモデル構造となっている。なお、第1段タンク下層部及び第2,3段タンクは図8に示すモデル構造をそのまま利用している。なお、図8の流出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)を統合した流出モデルであり、前述2.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したものである。すなわち、図9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。

また、本流出モデルによる流出計算にあたって、定数集中型KiWSモデルによる流出計算プログラムを基礎としながら、①流域モデルの各ブロック斜面域の区分領域毎に当該領域内に包含されるレーダメッシュ雨量の平均値、あるいは前述1.に示した手法で地点観測雨量データから算定される面積雨量を入力降雨とし、また斜面域の各区分領域下流端における斜面流出量が隣接する下流側区分領域の上流端流量の境界条件となるように斜面流計算プログラムの修正、②河道流計算プログラムの付加など、新たな計算プログラミングが必要となる。

流出解析の手順をフローチャートで示すと図10のようになる。

なお、各ブロックの斜面域が複数の領域に区分されている場合、各領域ごとのレーダ雨量データを入力降雨としながら、斜面域の流出計算を進めていくことになるので、区分数に応じた斜面域での雨水流の追跡をした後、河道流計算の過程へ移行する。この場合、左右岸の斜面下流端においては、表面流出と速い中間流出の共存する流れとして追跡する雨水流モデルによって算定する直接流出成分と低水流出成分との和を河道単位長流入量系列 q として算定しておく。そして、左右岸からの q 及び各ブロック上流端からの河道流入量系列を取り込んだ河道流追跡を河道配列構造に従って進め、流域最下流端の流量系列 Q を算定する。

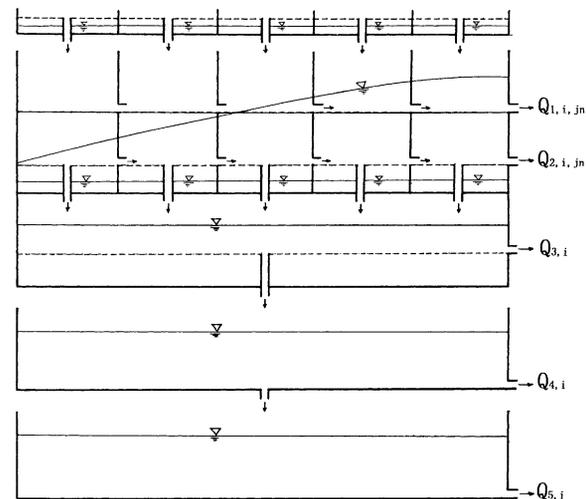


図7 定数分布型KiWSモデル

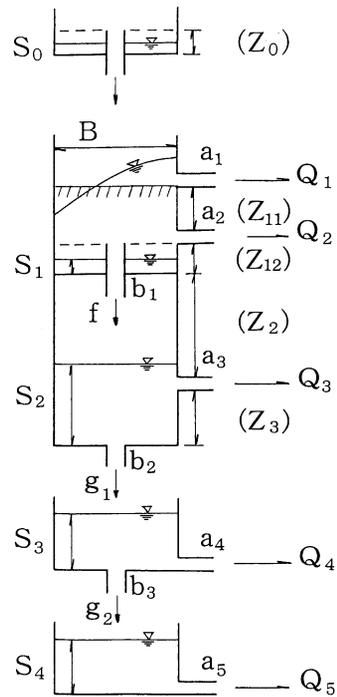


図8 定数集中型 KiWS モデル

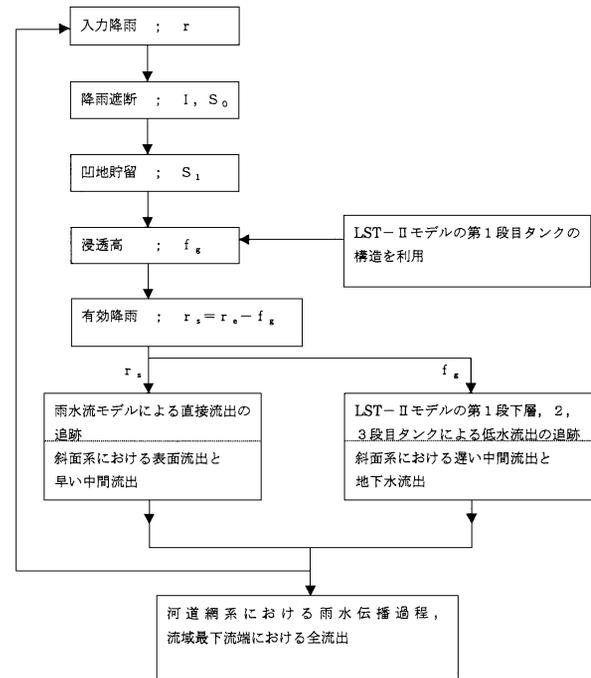


図10 流出解析の手順

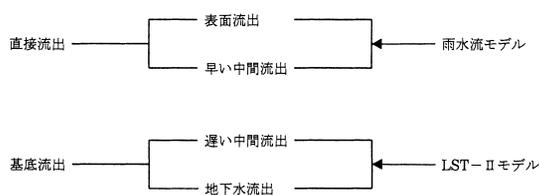


図9 定数集中型 KiWS モデル

4 適用例

分布型流出モデルとして、定数集中型 KiWS モデルを拡張の利用した定数分布型 KiWS モデルを用いる。入力降雨系列には、上述 1. の②で示した地点観測雨量データを活用して得られたメッシュ雨量値を用い、斐伊川流域（大津地点、集水面積 911.4km²）で流出解析した事例を図 11 に示す。

なお、本解析事例は、図 6 (b) に示す Type3 の流域モデルを用いた計算例である。流域最下流端のみならず、15 ブロックの各ブロック下流端の流出量ハイドログラフが実線で併示してある。また、図 12 は、図 6 (b) に示す流域モデルの各ブロック毎の雨水保留曲線及び累加雨量～累加有効雨量曲線を示す。流域平均雨量を入力降雨とする従来の雨水流モデルによる解析では、1 本の曲線で雨水保留曲線及び累加雨量～累加有効雨量曲線が描かれる

のに対し、本解析手法では、流域内の降雨分布特性を反映した雨水保留量及び有効降雨系列が流域モデルの各斜面域における区分領域毎に算定されることになる。

このように、本流出モデルでは、各ブロック斜面域の各領域毎に、有効降雨系列が雨域の空間的分布特性を反映しながら自動的に算定できる特長を有している。もっとも、その際に、分布型流域モデルの各ブロック毎のモデル定数が既知であることが前提であるため、流域地形あるいは土地利用形態に応じた標準的なモデル定数を評価しておく必要がある。

ところで、定数分布型 KiWS モデルの同定に際しては、ある特定の観測出水ハイドログラフの再現性が評価基準となり、出水の全期間にわたる入力降雨時系列は既知であることが前提である。したがって、斜面域での雨水流追跡に際し、斜面下流端部における計算流出量は、計算単位時間 Δt 毎に図 13 (a) に示すような特性曲線の内挿による算定法を採用している。しかし、本流出モデルを流出予測に応用しようとする場合、1～3 時間先の予測降雨量に基づいて計算流出量を算定することになるため、図 13 (a) に示す内挿計算が常に可能と言えない。そこで、図 13 (b) に示すように、雨水流の流下方向に内挿する計算手法を導入した計算プログラムへの修正が必要となる。またこの場合、実用的な計算精度を確保するのに十分な計算単位時間 Δt の設定が必要となる。

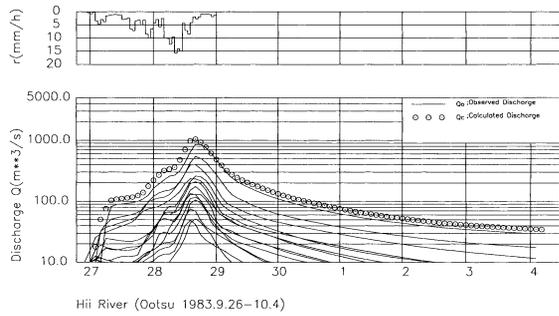
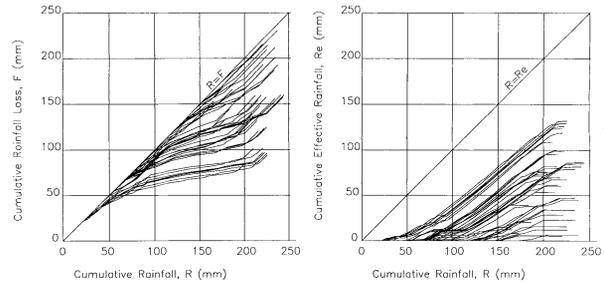


図11 流出解析事例(斐伊川水系大津集水域)



(a) 雨水保留量曲線 (b) 累加雨量～累加有効雨量曲線

図12 雨水保留量曲線及び
累加雨量～累加有効雨量曲線

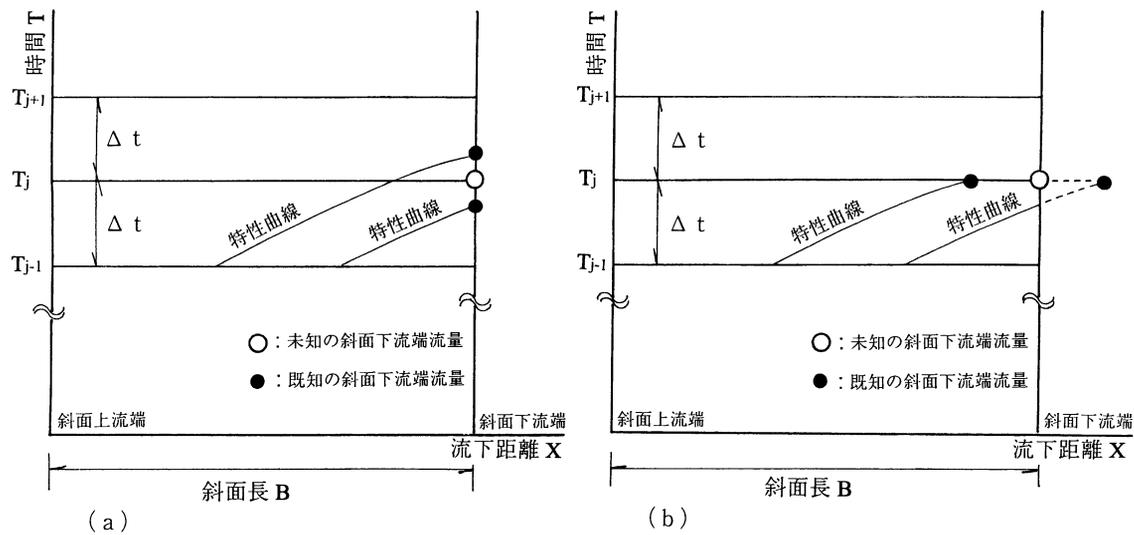


図13 斜面下流端流量の内挿計算手法

あとがき

従来、雨水流モデルによる洪水流出解析では、計算単位時間毎の流域平均有効雨量を各流域ブロックへの入力降雨としており、流域内の空間的降雨分布特性を十分に反映できない面があったが、ここで示した分布型流出モデルへの入力降雨系列の算定法を導入することにより、その問題点が幾分改良できるものと期待している。

今後、テーゼン法等を適用して流域平均雨量を算定し、単位時間毎に流域一様な降雨を与えて流出計算する従来の手法とどの程度の差異を生ずるのか、各種条件での流出シミュレーションによる検討が必要である。また実流域における観測水文資料に基づき、ここで提示した分布型流出モデルの同定、検証、さらには洪水予測手法への応用を図りたいと考えている。

引用文献

- 1) 岡田憲治：土砂災害発生予測に関する気象庁の取り組みの現状，河川，10 pp 26 - 29 (2001)
- 2) 松浦 直・深見和彦・金木 誠：レーダ雨量計の降雨・洪水予測への利用，土木技術資料，42 - 9 pp 28 - 33，(2000)
- 3) 福島 晟・武田育郎・森 也寸志：流域内の降雨分布特性を組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)
- 4) 深見和彦：レーダ雨量計を活用した洪水予測システム技術の現状について，42 - 7 pp .12 - 13，(2000)
- 5) 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)