

野川流域における降雨流下方向を考慮した短期流出解析

田鎖 秀明

法政大学大学院工学研究科建設工学専攻(都市領域)

岡 泰道

法政大学工学部都市環境デザイン工学科

小寺 浩二

法政大学文学部地理学科

分布型流出モデルによる降雨流出解析において重要な流域特性パラメータのうち、本研究ではメッシュ間の水分移動を支配する「土地の傾斜方向」に着目した検討を加えた。対象流域を10mメッシュに分割し、数値標高モデル(DEM)より抽出した土地の傾斜方向を示すデータを各メッシュに付与した。このことより、各メッシュからの流出が隣接するメッシュへと移動するモデルを構築し、その妥当性について検証を行った。さらに、構築したモデルを野川流域に適用した。しかしながら、十分な結果を得るに至っていないため、今後は、物理的なパラメータを組み合わせ、解析値と水文観測データを比較することにより、解析手法と妥当性について評価を行うことが挙げられる。

1. はじめに

三堀[1]が構築した表面流・中間流統合型分布型流出モデルは都市河川流域において比較的高い適用性を示すことが確認されている。また、流域特性をより正確に反映したパラメータの設定方法を提案し、値の妥当性についての検討を行った[2]。本研究ではこれまでの成果を踏まえ、地表面の勾配の影響を受ける降雨の流下方向を組み込んだ改良モデルの構築と対象流域におけるその妥当性の検討を行う。

2. GISの活用と利点

水文流出解析では、土地利用、地形などの空間的に分布した膨大な地理情報を扱う必要がある。本研究において適用する流出モデルは分布型であり、計算に必要な土地利用、土壌分布、地形構造などの情報はそれぞれ空間的に分布している。このような分布情報を扱う場合の作業性はGISの利用により格段に向上する。また、土地利用などのデータが更新された場合にも、GISにより、容易に対応することができる。

3. モデルの概要

このモデルは市川ら[3]によって示された山腹斜面系流出モデルの集中化手法に基づいている。対象とする流域を、矩形の小斜面の集合体としてモデル化し、それより得られる地形量を利用して、流量ならびに通水断面積の空間分布を定常状態の降雨・流出系として近似する。最後に、通水断面積を空間的に積分することによって、対象とする流域内の貯留量を求め、貯留量と流出量の集中化された関係を得る。この関係を基本として、流出計算をおこなう。本研究では、土地利用の空間的な分布が流出に寄与することを考慮し、貯留量と流出量の関係を土地利用ごとに導出した。

本集中化モデルの連続式および流量流積関係式を以下に示す。また、流出モデルの概念を図1に示す。なお、A層とは、中間流出に寄与する表層土壌のことを指す。

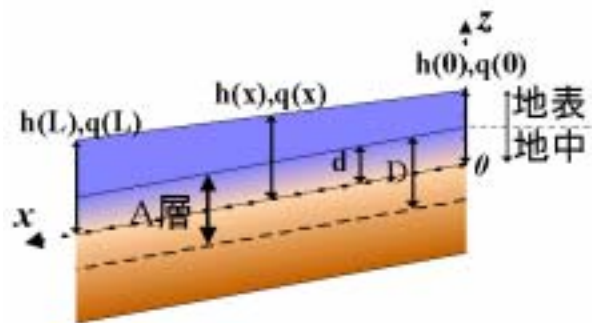


図1 流出モデルの概念

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r$$

$$q_i(h) = \begin{cases} ah_i(x) & (0 < h < d) \\ \alpha(h_i(x) - d)^m + ad & (h \geq d) \end{cases}$$

$h(x)$: 水深[m], $q(x)$: 単位幅流量[m³/hr/m], t : 時間[hr], x : 上流端からの距離[m], r : 降水強度[m/hr], $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / n$, θ : 斜面勾配[rad], n : Manningの粗度係数[m-hr], m : 流量流積パラメータ[-](>1), $a (= k \sin \theta / \gamma)$: 地中水実質流速[m/hr], k : 透水係数 : 有効間隙率[-], $d (= D)$: A層の相当空隙厚[m], D : A層厚[m]

4. 対象流域

野川は多摩川の左支川の一つであり、源を国分寺市の恋ヶ窪の「姿見の池」に発し、武蔵野台地南端、国分寺市崖線下を東南に流下し、小金井市、三鷹市、調布市、狛江市を貫流した後、世田谷区で多摩川に合流する一級河川である。流路延長は約18.3km、流域面積は約69.6km²であるが、対象とするのは水道



図2 野川流域の概要

橋地点より上流域の野川本川に沿った約42.7km²とする(図2)。
5. 流下方向を考慮した改良モデルの構築

5.1. 構築したモデルの概要

3節で述べた分布型流出モデルと流域における降雨の流下方向を考慮した概念とを組み込みことにより、降雨流出現象を解析結果に反映させることを目的としている。具体的には、流域をメッシュ分割し、各メッシュにそれぞれの土地の特性を持つ情報を付与した。以下、解析手法の提案としてモデルの概念や用いるデータを中心に記述する。

5.2. 必要となるデータの作成

必要となるデータは流下方向データ、土地利用情報、解析対象判別データである。

流下方向データは注目するメッシュからの降雨の流下方向を示し、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)より、ラスタ型落水線データである流下方向マトリクス(DDM: Drainage Direction Matrix)を抽出する[4]。これは図3(a)のように流下方向を定義し、それぞれの注目メッシュの周囲8メッシュのうち、最大傾斜を持つ方向を連結させて作成するものであり、図3(b)のように数値として示される。

次に、土地利用情報は国土地理院発行の「細密数値情報(10mメッシュ土地利用)首都圏1994」を用いた。土地利用は表1に示すように、海ならびに対象地域外を除く15種類とし、分類は大分類に従うが、このうち公共公益用地に含まれる道路は他の土地利用と比較して流出率が高いと考えられるため個別の分類とした。これらに河川・湖沼等、その他を加えた7種類で解析を行う。

最後に解析対象判別データについて述べる。野川流域を含む矩形のエリアは10m×10mのメッシュに置き換えると約160万個となり膨大な計算量となる。そこで、解析の簡略化のために流域内の上流部のメッシュから解析を行うモデルを考案した。図3で示したDDMの概念より、ある注目するメッシュの周囲8メッシュからの流入の有無を判断し、流入がある場合は0ない場合は1とする。値が1の場合は流路網の最上流部であることを示しているため解析対象とする。また、解析後のメッシュは値を0にすることによって解析対象から除外する。

ここで、流下方向データのサイズが50m、土地利用情報が10mとなっているため、解析を行うに当たってサイズを統一させる必要がある。そこで図4のように流下方向データを10mメッシュへと変換した。

5.3. モデルパラメータの設定

大分類の4つに道路、河川・湖沼等、その他を加えた7種類のパラメータ値の設定を行う。モデルパラメータのうち山林農

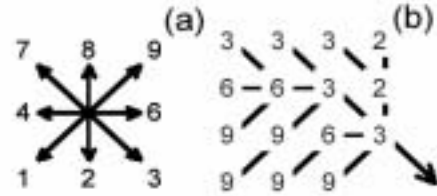


図3 流下方向(a)とDDM(b)

表1 土地利用分類コード

コード	土地利用分類		
	大分類	中分類	小分類
01	山林農地等	山林・荒地等	
02		農地	田
03			畑・その他の農地
04	造成地	造成中地	
05		空地	
06	宅地	工業用地	
07		住宅地	一般低層住宅
08			密集低層住宅
09			中高層住宅
10		商業・業務用地	
11	道路		
12	公共公益用地	公園・緑地等	
13		その他の公共公益施設用地	
14	河川・湖沼等		
15	その他		
16	海		
17	対象地域外		

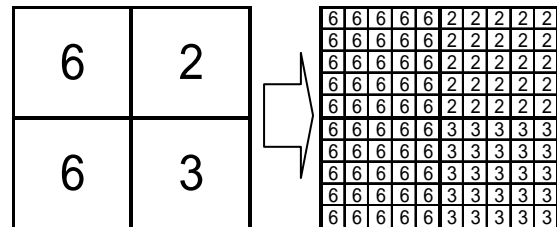


図4 メッシュサイズの変換

地、造成地、宅地、公共公益地は山崎[2]が野川流域において概ね妥当であるとした値を用いた。また、河川・湖沼等においては降雨が全て流出するように流出率を1.0とし流出解析は行わない。また、道路、その他は文献等の参考により設定した[5]。このようにして設定した値を表2に示す。

5.4. 流出量の算出

流出量は解析対象判断データより求められたメッシュにおいて解析が行われることにより算出される。10mメッシュに変換したものを図3(a)の流下方向に従って矢印で示すと図5のようになり、メッシュからの流出量が隣接するメッシュへと流入していることが分かる。

以下に流出量算出の手順を示す。ここで、あるメッシュAからの流出量を Q_A 、隣接するメッシュBからの流出量を Q_B とする。メッシュBにおいて有効降雨分離を次式で行い、得られた有効降雨 Re を用いて Q_B を求める。

表2 設定したパラメータ

	山林農地等	造成地	宅地	道路	公共公益用地	河川・湖沼等	その他
斜面幅(m)	10	10	10	10	10	10	10
河道長(m)	10	10	10	10	10	10	10
勾配	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042		0.0042
降水強度上限値(mm)	100	100	100	100	100		100
Manning粗度係数	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002		0.002
透水係数(m/s)	5.0×10^{-5}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-5}		1.0×10^{-5}
有効間隙率	0.12	0.10	0.05	0.05	0.07		0.01
流量流積パラメータ	1.667	1.667	1.667	1.667	1.667		1.667
A層の厚さ(m)	0.10	0.08	0.05	0.01	0.06		0.05
素片上流域面積(m ²)	100	100	100	100	100		100
計算時間ステップ数	500	500	500	500	500		500
計算時間最大値(hr)	100	100	100	100	100		100
流出係数	0.05	0.10	0.40	0.80	0.30		1.00
浸透率	1.00	0.70	0.35	1.00	0.40		0.50

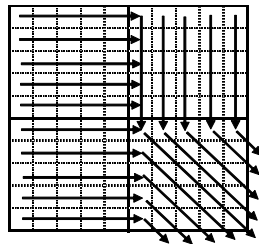


図5 DDM

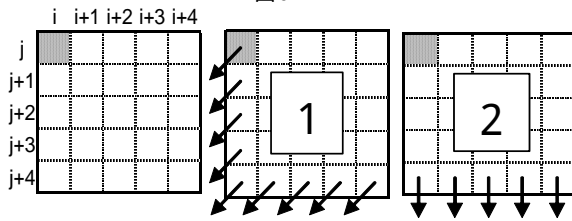


図6 座標配置



図7 DDM=1



図8 DDM=2

$$Re = (R + Q_A / 100 \times 3600 \times 1000) \times Kr$$

$$= (R + Q_A / 100 \times 3600 \times 1000) \times f \times Inf_R$$

Re:有効降雨[mm/hr], R:降雨[mm/hr], $Q_A / 100 \times 3600 \times 1000$: Q_A (m³/s)を面積(100m²)で除し単位変換した値[mm/hr], Kr:降雨の浸透割合を表す係数[-], f:流出率[-], Inf_R:浸透率[-]

5.5. 総流出量の算出

総流出量の算出では流域の最下流部において複数のメッシュに流出量が算出される。そこで、流域の最下流部における5×5のメッシュからの流出量を図6のような新しい配列に出力し、左上のメッシュに座標(i, j)を与える。この5×5のメッシュには等しい値のDDMが与えられており、流下方向に従ってメッシュの水分移動が生じる。

ここで総流出量の算出例をいくつか挙げる。DDMが1の場合は図7のように左下の方向に流出する。総流出量は左側と下側の9メッシュからの流出量を合計することによって算出することができる。また、DDMが2の場合は図8のように下側の5つのメッシュから流出するため、同様に合計して総流出量を算出する。これら2つの例と同様の考え方によって、DDMの値が異なる場合においても総流出量を算出することが可能である。

6. 流出解析

野川流域を対象として解析を行うにあたって、計算量が多くなるため、法政大学情報メディア教育研究センターのグリッドコンピュータシステムを用いた。しかし、現段階において、作成したメッシュデータを扱う部分に残されている技術的な問題が未解決であるため、十分なシミュレーション結果を得るに至っていない。ここでは、それらの問題点を示す。

- ・本検討では、プログラムの簡素化を試みたが、依然として解析が長時間に及ぶため、更なる簡素化を図る必要がある。
- ・グリッドコンピュータの特性を生かした効率的な解析方法の確立が求められる。

7. 考察

本検討では、降雨流下方向を考慮した改良モデルの概念を示し、モデルの構築に関する基礎的な検討を行うことができた。しかしながら、実流域における解析を行うに至っていないため、妥当性については十分な検討を行うことができなかった。今後の課題としては、モデルの特性を十分に確認した後に、仮想流域や実流域における水収支の検討が挙げられる。

【謝辞】

東京都土木技術研究所より、野川流域の各種水文データを提供していただきました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- [1]三堀恵(2004):流域特性に基づいた表面流・中間流統合型流出モデルの構築, 2003年度法政大学修士論文, 84p.
- [2]山崎亮(2006):分布型流出モデルに基づく野川流域の水収支・流出特性に関する研究, 2005年度法政大学修士論文, 106p.
- [3]市川温, 小椋俊博, 立川康人, 椎葉充晴, 宝馨(2000):数値地形情報を用いた山腹斜面系流出モデルの集中化手法に関する研究, 京都大学防災研究所年報第43号 B-2 pp.201-215.
- [4]中山大地, 田中靖(2002):数値標高モデル(DEM)処理技術勉強会テキスト(2002年版), 京都大学防災研究所地盤災害研究部門日本地形学連合, 63p.
- [5]市川新, チェド・マキシモヴィッチ(1988):都市域の雨水流出とその抑制, 鹿島出版, 338p.

キーワード.

分布型流出モデル, 地理情報システム, 短期流出解析, 降雨流下方向, 野川

Summary.

**Short Term Runoff Analysis Considering Rainwater Flowing Direction
In Nogawa Basin**

TAKUSARI Hideaki

Civil Engineering Major, Division of Engineering, Graduate School, Hosei University

OKA Yasumiti

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Hosei University

And

KODERA Koji

Department of Geography, Faculty of Letters, Hosei University

Rainfall runoff analysis using distributed runoff model requires some important parameters relevant to basin characteristics. Among these parameters, this paper focuses on the “Land Incline Direction” which governs the surface runoff between meshes. After dividing basin into 10m square meshes, parameters abstracted from Digital Elevation Model (DEM), which represent the Land Incline Direction, are assigned to each mesh. Then, a runoff process model is constructed to evaluate runoff rate from the upper mesh to the lower. In addition, the distributed model is applied to Nogawa basin. Although satisfactory results have not been obtained yet, its performance and validity are planned to be assessed at the next stage by incorporating additional physical parameters and comparing the calculated results with the observed hydrological data.

Keywords.

Distributed Model, Geographical Information System (GIS), Short Term Runoff Analysis, Rainwater Flowing Direction, Nogawa Basin