

# GISを活用した分布型流出モデルの海老川流域への適用

三堀 恵  
法政大学大学院工学研究科

中山 大地  
東京都立大学理学研究科地理科学専攻

岡 泰道  
法政大学工学部土木工学科

本研究では、鶴見川流域を対象とした解析で再現性が確認されている分布型流出モデルを、海老川流域に適用することにより検証を行った。また、流域分割に関して、これまでの河道網・尾根線を描画した結果を目安に目視により決定する方法を改善し、数値標高モデル(DEM)を指標とした客観的な分割法を採用した。その結果、ハイドログラフはよい再現性を示し、本モデルの海老川流域への適用性が確認された。

## 1.はじめに

水文流出解析において、膨大で複雑な地理情報を活用するためには、計算機の利用が不可欠である。1980年代後半から急速に発展してきた地理情報システム(GIS: Geographical Information System)が、空間構成データの解析や計算ツールとして、その役割を担うこととなった。さらに、計算機を用いた水文モデルは広範囲に及びつつあり、水文学とGISの融合は必然であるといえる。

筆者らは、GISを用いて、国土地理院が作成した細密数値情報10mメッシュ土地利用(以下「土地利用データ」と表記)を各部分流域ごとに集計した面積を、モデルパラメータとして分布型流出モデルに組み込み、東京都西部に位置する永山試験流域および昭島つつじヶ丘ハイツに適用することによりモデルの妥当性を検証した<sup>[1]</sup>。さらに鶴見川上中流域への適用結果から、本モデルによる流出現象の再現性を確認した。本研究では、他の都市流域への適用性を検証することを目的としている。対象流域は、データの信頼性の観点から千葉県船橋市の海老川流域を選定した。また、流域分割に関して、これまでの河道網・尾根線を描画した結果を目安に目視により決定する方法を改善し、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)を指標とした客観的な分割法を採用した。

## 2.海老川流域の概要

海老川流域は船橋市と鎌ヶ谷市を含み、国土交通省の水循環再生構想の対象流域の1つとなっている(図1)。流域面積は約29km<sup>2</sup>で、海老川本川と前原川などの7つの支川からなっている。流域内や流域界の近くには6カ

所の雨量観測所(アメダス船橋観測点を含む)、2ヶ所の河川水位流量観測点、及び13カ所の地下水位観測点がある。流域内の地表標高は0~33mであり、第一透水層の厚さは2~17mである。また、この流域には4種類の土壌(関東ローム、沖積土、常総粘土と成田砂)が分布している。海老川流域の市街化率は1993年時点では60%であるが、将来(2035年時点)は山林や農地が市街地に転換され、都市化が一層進展するものと予想されている<sup>[2]</sup>。



図1.海老川流域概要

## 3. DEMを用いた流域の抽出

流域を抽出する際の指標として、DEMを用いた。このDEMからメッシュ型の落水線データ(DDM: Drainage Direction Matrix)を作成し、落水線網を抽出した<sup>[3]</sup>(図2)。

ここで、DDMとは注目するメッシュの周囲8メッシュのうち、下向きの最大傾斜を持つ方向を連結させて作成するものである。しかし、DDMは(1)流路が途中で分岐し

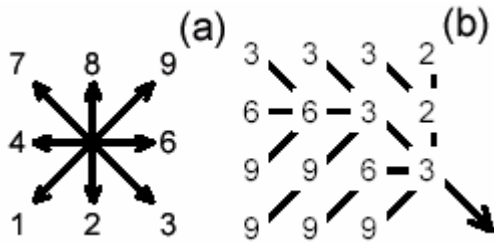


図2 .流下方向(a)とDDM(b)

ないこと、(2)流路がループしないこと、(3)流路が中断しないこと、3つの条件を満たす必要がある。単純に流下方向を連結するだけでは求めることができない。例えば、平坦地では最大流下方向が複数あり、DEMに必ず存在する凹陥地では、そもそも下向きの最大傾斜を求めることができない。このような場合には、何らかの処理を施してDDMを連結させる必要がある。そのためのアルゴリズムとしては、洪水追跡アルゴリズムが実用的である<sup>[4]</sup>。これは、凹陥地に水が溜まり溢れ出すという、自然のプロセスにかなったアルゴリズムとして評価されているものである。また、この考えに基づき、プログラム内では落水線に沿って通過したメッシュの数をカウントしている。このカウントにDEMメッシュの単位面積を乗ずることで流域面積の計算ができる。この方法を流域抽出の指標として取り入れた。

#### 4.作業手順

まず始めに、DEMのデータをプログラムで読み込むために、データのフォーマットを変換した。これは、2次元メッシュ単位でファイル化されている50mメッシュ標高データ(\*.mem)を、任意の大きさの標高マトリクス(text形式、タブ区切り)のDEMファイルに変換するものである。このDEMのデータを基本として、これ以降の流域処理をすることにする。次に、洪水追跡アルゴリズムに従ってDDMを作成し、この最上流端を尾根線とした。さらに、これを流域界として、囲まれた領域を海老川の流域とした。観測点を最下流端として抽出を行うと、観測点よりも上流部が部分流域としてカウントされていることになる。最後に流域の分割を行う。この作業の原理を以下に述べる。図3のような落水線網を仮定すると、(b)が各メッシュの流域面積(メッシュ単位)となる。ここで流域面積に任意のしきい値を与え、このしきい値を満たす流域を抽出することを考える。仮に下限を8以上、上限を10未満とすると、このしきい値を満たすメッシュは図3(1)で示すようなものとなり、これを最下流端として、それより上流部のメッシュに同じ流域コードを埋め込む

(図3.(2)・(3))ことにより部分流域を抽出することができる。この作業を繰り返せば、対象地域全体をほぼ同じ大きさの部分流域に分割することができる。

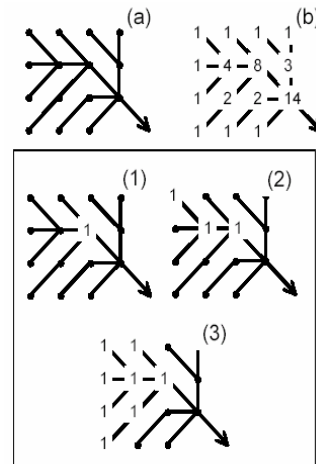


図3 .流域分割の抽出の概念

次に、流域・落水線網・部分流域のtext形式のデータを可視化し、それらを画像として出力し、GISソフトのSISに取り込んだ。これらのデータに基づき、SISの機能であるラバースheet(幾何補正)を用いて、画像に座標(緯度、経度)を割り当てた。最終的には、海老川上流域は3つの部分流域に分割された。

最後に、土地利用データの情報をもとに、各部分流域における土地利用別の面積を求める。SISにはこの機能はないが、ArcViewを併用することにより問題が解決された。以上のような作業の手順により、流出解析のパラメータを決定した。

#### 5.モデルの構造

本研究で用いた分布型流出モデル(図4)は、有効降雨分離、斜面流、河道流等のサブモデルからなり、土地利用区分ごとに流出計算を行う。以下、モデル構造の概要を述べる。

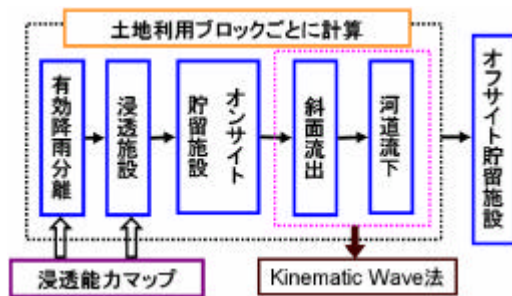


図4 .分布型流出モデルの概要

### 5.1 有効降雨分離モデル

有効降雨は土地利用区分ごとに流出係数を与えて推定した。現時点では土地利用区分ごとに損失率を決める方法を採用していないため、便宜的に表1の値<sup>[5]</sup>を与えることとした。

表1. 各土地利用の不浸透率・流出率

No	属性	不浸透率	流出率
1	山林・荒地等	0	0.2
2	水田	0	0.4
3	畑	0	0.1
4	造成中地	0.52	0.3
5	空地	0	0.3
6	工業用地	0.35	0.8
7	一般低層住宅	0.52	0.4
8	密集低層住宅	0.64	0.7
9	中高層住宅	0.35	0.4
10	商業・業務地	0.64	0.8
11	道路用地	1	0.9
12	公園・緑地等	0	0.1
13	公共施設用地	0.52	0.7
14	河川・湖沼等	0	1.0
15	その他	0	0.5

### 5.2 斜面流モデルおよび河道流モデル

斜面流モデルおよび河道流モデルは、kinematic wave 法に基づき、Crank-Nicolson 型4点差分法により離散化される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r, \quad q = a h^m$$

ここに、 $x$ ：距離、 $t$ ：時間、 $h$ ：雨水流の水深、 $q$ ：単位幅あたりの流量、 $r$ ：横流入量。等流を仮定すると、斜面流および河道流は  $a = \sqrt{I} / N$  ( $I$ ：斜面または河道勾配、 $N$ ：等価粗度)、 $m = 5/3$  となる。

## 6. 流出解析

### 6.1 降雨・流量データ

降雨・流量データは、東京大学生産技術研究所虫明研究室が観測したものを借用した。流量は観測水位から水位流量曲線により算定したものである。さらにここでは、簡便のため、水平分離法を用いて流出成分の分離を行った。また、流量データについては最も精度が良好と判断される1995年の洪水を解析の対象とした。

### 6.2 モデルパラメータ

#### (1) 土地利用分類

土地利用データの分類項目(17分類)を用いると通常、

パラメータの設定に膨大な時間を費やすこと、計算時間の増大などの問題点がある。このため、分類項目を大分類(8分類)にまとめなおした(表2)。小分類(17分類)と大分類の解析結果を比較した結果、両者に相違は見られなかったため、以下の解析では大分類を用いた。

表2. 土地利用分類と分類コード

コード	土地利用分類		
	大分類	小分類	
1	山林農地等	山林 荒地等	
2		農地	
3		畑・その他の農地	
4	造成中地	造成中地	
5		空地	
6	宅地	工業用地	
7		住宅地	一般低層住宅
8			密集低層住宅
9			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		

#### (2) 土地利用別ブロックの斜面長及び河道長

計算の簡素化のため、流域を流域面積と同じ面積の矩形で表現する。この時、矩形の一边を河道長、もう一边を斜面長と定義する。ここで、実際の河川は流域内を蛇行して流下しているために、河川の流路長を河道長として扱おうと、斜面長が短くなってしまふ。そこで実際の河川の長さとして、各部分流域の最下流端と最上流端の直線距離の平均を河道長とすることにした。

#### (3) 流出係数および不浸透率

小分類で与えられている流出率・浸透率を各土地利用の面積の割合を考慮して大分類に割り振った(表3、表4)。

表3. 各部分流域別の土地利用ごとの面積(単位: km<sup>2</sup>)

	海老川上流			前原川	
	1	2	3	4	5
山林農地等	2.466	0.881	0.932	0.727	0.418
造成中地	0.525	0.161	0.207	0.260	0.127
市街地	1.122	0.521	0.831	1.162	0.445
公共公益用地	0.816	0.175	0.238	0.319	0.088
合計	4.928	1.738	2.209	2.468	1.078

表4. 土地利用ごとの流出率および浸透率

	海老川上流			前原川		
	1	2	3	4	5	
流出率	山林農地等	0.14	0.18	0.23	0.15	0.16
	造成中地	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
	市街地	0.51	0.48	0.49	0.47	0.45
公共公益用地	0.49	0.72	0.68	0.71	0.74	
浸透率	山林農地等	1	1	1	1	1
	造成中地	0.80	0.99	1.00	0.97	1.00
	市街地	0.49	0.51	0.49	0.48	0.51
	公共公益用地	0.59	0.32	0.36	0.34	0.23

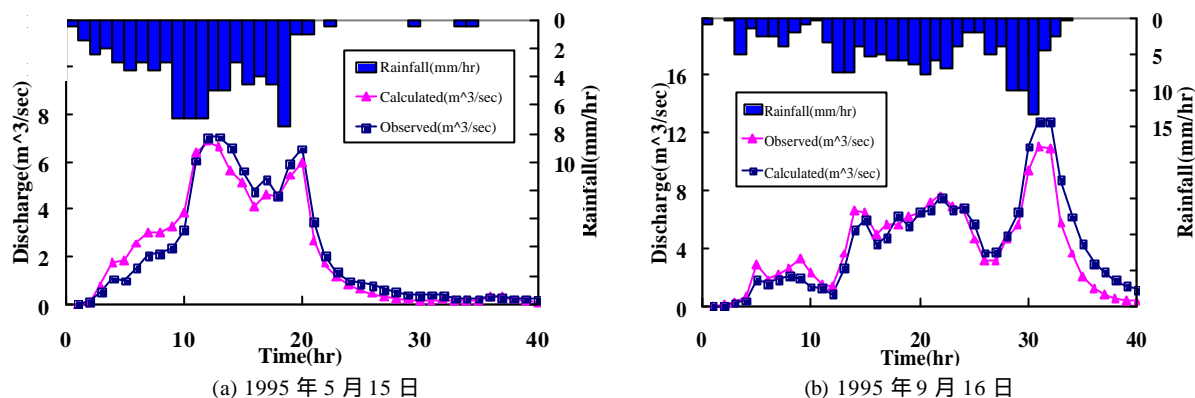


図5.解析結果

### 6.3 結果・考察

各部分流域に以上のモデルパラメータを割り当て、1995年の洪水を対象として流出解析を行った。解析は海老川上流、前原川の2つの部分流域で行った。海老川上流域についての解析結果を図5(a)、(b)に示す。解析結果がいずれも実測値とほぼ符合していることから、本モデルは比較的高い適用性を持っていると判断できる。

問題点としては、分布型流出モデルに組み込まれている浸透施設、貯留施設に関する検討がなされておらず、今後はモデルパラメータを決定して検証する必要がある。また、解析結果(a)、(b)より降雨開始時は解析値が実測流量を上回っていたが、降雨が長びくにつれて逆転する傾向も見られる。流出率の時間的な変化を組み込む必要性を示唆しているとも推察できるが、今後の課題としたい。

### 6.4 結論

本研究では、細密数値情報10mメッシュ土地利用を用いた分布型流域モデルを海老川流域に適用し、モデルの都市流域への適用性を検証した。以下に結果をまとめた。

- (1) 本研究で用いた分布型流出モデルは、代表的な都市流域である海老川流域に適用したところハイドログラフを精度よく再現することが確認された。
- (2) 解析結果が良好であったことから、DEMを基調とした流域分割の手法は妥当なものと考えられる。

### 【謝辞】

東京大学生産技術研究所虫明研究室より、海老川流域の各種データを提供していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- [1]井幡英紀,松浦祐樹,岡泰道(2001):分布型流出モデルを用いた雨水貯留浸透施設設置効果の定量化,第28回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.262-263.
- [2]建設省土木研究所(2000):土木研究所資料 都市河川流域における水・熱循環の統合解析モデルの開発, pp.46-69.
- [3]中山大地(1999):遺伝的アルゴリズムを用いたDDM作成アルゴリズムの開発,GIS-理論と応用,Vol.7 No.1, pp.27-35.
- [4]野上道男(1998):DEM(数値標高モデル)からDDM(流水線図)を作成するアルゴリズムの改良とC言語プログラム,GIS-理論と応用,Vol.6 No.1, pp.95-102.
- [5]市川新,C.マキシモヴィッチ(1988):都市域の雨水流出とその抑制,鹿島出版会, pp.217-271.

キーワード.

流出解析 , 分布型流出モデル , 地理情報システム ( GIS ) , 数値標高モデル ( DEM ) , 海老川

-----

Summary.

**Application of the Distributed Runoff Model using GIS to the Ebi River basin**

Kei MITSUHORI

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

Daichi NAKAYAMA

Department of Geography, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

Yasumiti OKA

Department of Engineering, Faculty of Engineering, Hosei University

In this study, a distributed runoff model, which has been verified by the flood runoff analysis in the Tsurumi River basin, is applied to the Ebi River basin. In addition, as for the division of study basin into small sub-basins, a new method based on the Digital Elevation Model (DEM) is adopted, instead of the former one which uses the generated river channel networks and ridge lines on the map as criteria for the manual work. As a result, the validity of the proposed model and its applicability to the urbanized basin are assessed by comparing the calculated hydrographs with the observed data.

Keywords.

Runoff Analysis , Distributed Runoff Model , Geographical Information System (GIS) , Digital Elevation Model (DEM) , Ebi River