

流出解析における細密数値情報の活用に関する基礎的研究

松浦 祐樹
法政大学大学院工学研究科

小寺 浩二
法政大学文学部地理学科

岡 泰道
法政大学工学部土木工学科

分布型流出モデルを用いて流出解析を行うためには、地理情報の空間分布の表現が必要である。本研究では、地理情報システム(GIS)を用いて、国土地理情報のひとつである細密数値情報を分布型流出モデルに適用し、鶴見川流域を対象として、その有用性を検討した。流出モデルのパラメータである土地利用区分毎の流出係数の評価方法、都市河川流域での流出抑制施設のモデル化などの問題点も残されているが、水文流出解析への適用性はかなり高いことが確認された。

1. はじめに

分布型流出モデルを用いて流出解析を行うためには、地形や土地利用など地理情報の空間分布の表現が不可欠である。

一般に、流出解析を行う際に必要となる空間分布データは、対象地域の地形図や土地利用図・航空写真などから読み取られ、不十分な部分は現地調査によって補完される場合が多い。しかし、土地利用や地形が複雑な市街化地域や広大な領域を対象とした場合、データ量が大きくなるため取扱いが煩雑になりがちであった。また、都市化が急速に進展している地域では、土地被覆や地形が短期間に急激に変化する。このため、このような流域で流出解析を行う際には、用いる地理情報の迅速な更新が必要となる[1]。

そこで、これらの地理情報の管理・更新を簡易に行うために、地理情報システム(GIS)用いられてきた。さらに、細密数値情報などの、数値化された標高データや土地利用データなどが整備され、これらのデータを併用した地理情報処理もGISを利用することによって容易に行うことができるようになってきた。

本研究では、国土地理情報のひとつである細密数値情報を分布型流出モデルに適用し、細密数値情報の流出モデルに対する有用性を検討する。検討対象地域は鶴見川流域である。

2. 地理情報処理について

2.1. 地理情報システム(GIS)

地理情報システム(GIS)は、地理的に関連する情報を取得(入力)、管理(データベース化)、処理、表示(出力)するためのハードウェアおよびソフトウェアシステムであり、カナダ、アメリカを中心に1960年代に始まった技術である。GISを用いることにより、人口密度、家屋の種類、土地被覆、土地の所有者など対象地域のさまざまな属性に関するデータの入力が可能であり、これらの属性の図示、特定の属性を用いたデータの検索、属性間の演算なども容易に行うことができる。ま

た、入力済みの地理情報の更新も極めて容易であり、地理情報の経時変化にも柔軟に対応することができる。

このようなGISの特徴は、分布型流出モデル構築においても、必要な地理情報を扱う上で極めて有利であり、従来煩雑な作業を伴った流出モデルのモデルパラメータの算出や土地被覆分布による有効降雨の算定が、GISの活用によって効率的に処理できるようになりつつある。

2.2. 細密数値情報

「細密数値情報(10mメッシュ土地利用)」(以降、細密数値情報)データは、国土地理院が昭和49年(1974年)から約5年ごとに行った宅地利用動向調査の結果を基に作成された、土地利用に関する数値情報である。データは10mメッシュで、空中写真から判読した土地利用情報を15種類の土地利用分類にコード化し、平面直角座標系のもと、3km×4kmを1ファイルとして、テキスト形式で整備され、首都圏データの場合、宅地利用動向調査の対象地域が合計839のファイルで構成されている。収納されているデータは土地利用データと行政区界データである。

宅地利用動向調査とは、宅地関連情報の体系的な整備の一環として、住宅需要が逼迫している首都圏、近畿圏、中部圏を対象に実施され、土地利用の現況とその変化状況について把握するものである。首都圏では首都圏整備法に基づく約8300平方kmの地域が対象となっている。

土地利用データの作成は、まず、新規データ作成作業とデータ更新作業に分けられる。新規データ作成は空中写真や各種参考資料の収集から始まり、縮尺1:10000の基図作成、空中写真判読による土地利用分類、ポリエステルベース上への空中写真判読結果の描画(土地利用現況図の作成)、土地利用現況図から色自動判別型ドラムスキャナによるデータの読み取り(数値化)、正規化やノイズ除去の工程を経てデータを作成する。データ更新作業は、調査時期でのコンピュータやスキャナの性能によって多少異なっているが、概ね、調査時の土地利用分類のための参考資料収集、土地利用変化部の空中写真判読、変化部のスキャナによる読み込み、データの数値化などの工程で行われる。

ファイルのフォーマットは、平面直角座標系において10m×10mの範囲ごとに、土地利用データでは2桁、行政区界データでは3桁の数字にコード化されている(表1)。

土地利用データは宅地の他に、農地・荒地・空地等の宅地利用予備地、公共施設、河川・湖沼などに分類され、それぞれの土地利用に分類コードが割り当てられている(表2)。

表1.土地利用データファイルのフォーマット

ファイル コード(4桁)	ライン番号 (3桁)	データ 1 (2桁)	データ 2 (2桁)	～	データ 399 (2桁)	データ 400 (2桁)
(例)0121	001	01	02	～	16	17
0121	002	01	02	～	16	17
～						
0121	300	01	02	～	16	17

表2.土地利用分類と分類コード表

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	公共公益用地	道路	
12		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		

細密数値情報データは、本来のデータの作成目的である宅地利用動向の基礎資料となるほか、水資源利用の計画立案への支援、災害時の損害評価のシミュレーションや災害復興計画への支援など、様々な分野で利用することが可能である[2]。

3. 分布型流出モデル

流域をいくつかの部分流域に分割し、さらに各部分流域を細密数値情報の土地利用区分に分割する。ここでは細密数値情報の土地利用区分は17であるが、海、対象地

域外の2区分を除いた15区分を用いる。各ブロックは矩形斜面とその片側に付随する直線河道で構成すると仮定する。それぞれのブロック内で、有効降雨分離、斜面流、河道流のサブモデルにより流出計算を行なう。

3.1. 有効降雨分離モデル

損失降雨は土地利用区分ごとに異なるため、直接流出に寄与しない初期損失と浸透量を差し引く必要がある。本研究では、有効降雨分離モデルには、文献[3]による土地利用区分ごとの流出係数を用いた。

表3.土地利用区分ごとの流出係数^[3]

土地利用	山林・荒地	田	畑
流出率	0.2	0.4	0.1
土地利用	造成地	空地	工業用地
流出率	0.3	0.3	0.8
土地利用	低層住宅	密集低層住宅	中高層住宅
流出率	0.4	0.7	0.4
土地利用	商業・業務用地	道路	公園・緑地
流出率	0.8	0.9	0.1
土地利用	公共施設用地	河川・湖沼	その他
流出率	0.7	1.0	0.5

3.2. 斜面流モデル・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を行なった。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \quad \dots (1)$$

$$q = \alpha h^m \quad \dots (2)$$

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。雨水および河川の流下を等流と仮定すると、斜面流および河道流は、 $\alpha = \sqrt{L/N}$ 、 $m = 5/3$ となる。ここに、 L ：斜面または河道勾配、 N ：等価粗度である[4]。

斜面流および河道流モデルのパラメータである斜面勾配はGIS上で数値地図50mメッシュ(標高)を使用し、部分流域内の最高地点と最低地点の高低差を計測し、土地利用ブロックの河道長で除して求めた。また、河道勾配には部分流域内の高低差を土地利用ブロックの斜面長で除した値を用いた。等価粗度の値については水理公式集[5]に拠った。

4. 鶴見川流域への適用

4.1. 対象流域概要

鶴見川は、東京都町田市の北西部、多摩丘陵内の町田市と八王子市が境界をなすところを水源とし、途中、恩田川、鳥山川、早淵川、矢上川等を合流して、横浜市鶴見区で東京湾に注ぐ、流域面積 235km²、幹線流路延長

42.5km の一級河川である。首都圏に近接し、低く平坦な丘陵の続いた開発しやすい地形を有し、横浜市、川崎市などの大都市があり、また、東京に近いという地理的条件から、昭和 40 年以降、急激に都市化が進み、1995 年(平成 7 年)には、流域の 80%以上が市街地化されている。

本研究で解析の対象とする地域は鶴見川の上中流域である。流域の地形は丘陵地と河川沿いの低地で構成され[6]、流域面積は 114km²、流路延長は 22.1km である。



図 1. 鶴見川流域

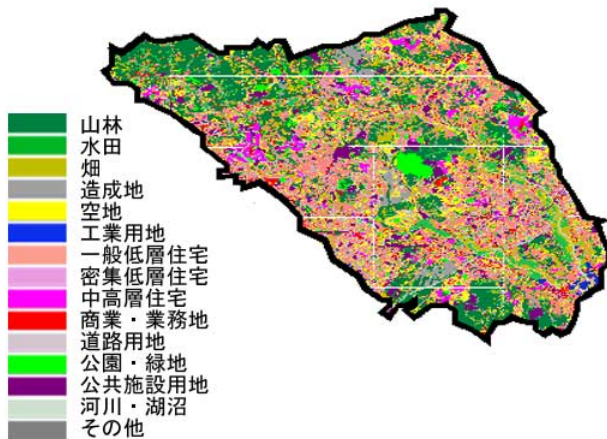


図 2. 鶴見川上中域の土地利用状況 (平成 6 年時点)

4.2. 解析対象データ

本研究では、鶴見川流域において洪水対策の対象降雨となっている、昭和 33 年 9 月 26 日からの 2 日雨量 308 mm を用いた。また、流量については鶴見川中流域の落合橋で観測されたデータを用いた。

実測値との比較においては、細密数値情報と同じ年次である 1994 年 3 月 22 日から 3 月 24 日にかけてと 8 月 20 日から 22 日にかけての降雨・流量データを用いた。

4.3. 鶴見川流域における流出解析

4.3.1. 流域分割

本研究で用いるモデルは、部分流域を矩形斜面と仮定して計算するため、各部分流域の大きさ、形、平均勾配を求める必要がある。そこで、数値標高データにより尾根線と河道網を描画し、部分流域の分割に用いた[7]。

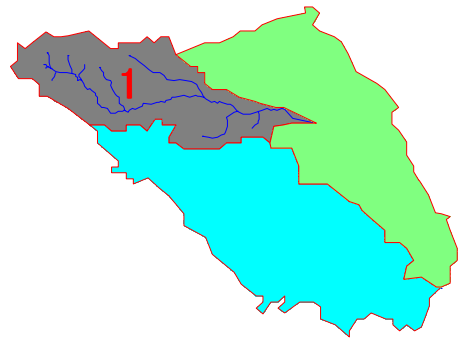


図 3. 部分流域分割

4.3.2. 流出解析

はじめに、細密数値情報の土地利用区分の分類方法による流出量の違いについて検討した。表 2 に示した 3 つの分類方法で行う。小分類については土地利用区分ごとに表 3 の流出係数を用いるが、中分類、大分類においては、小分類における土地利用区分の面積率を考慮した重み付けをすることによって、土地利用区分ごとの代表値を算定し、解析に用いた。統合した土地利用区分の流出係数を表 4 に示す。

表 4. 土地利用区分ごとの流出係数 (分類法別)

中分類	部分流域①	部分流域②	部分流域③
農地	0.181	0.181	0.168
住宅地	0.403	0.405	0.405
大分類	部分流域①	部分流域②	部分流域③
農地山林等	0.194	0.192	0.187
造成地	0.300	0.300	0.300
宅地	0.474	0.457	0.456
公共施設用地	0.646	0.715	0.708

解析結果を図 4 に示す。ピーク流出量に関しては、ハイドログラフがほぼ一致していることから、分類方法による相違は見受けられない。これは、分類方法によって結果に大きな変化が無いことを示している。よって、計算時間とデータ量を考慮し、大分類の区分で解析を行っても、解析精度にあまり影響を及ぼさないと考えられる。

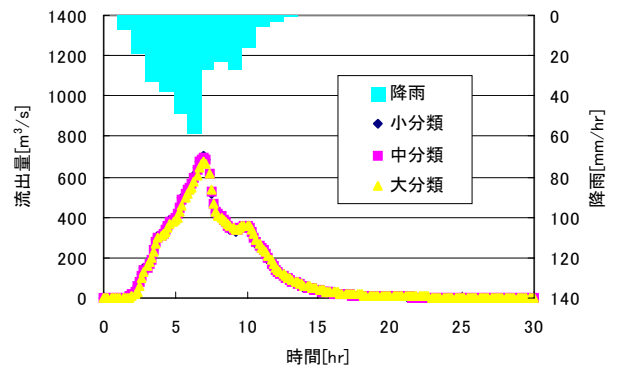


図 4. 土地利用分類による比較

次に計算値と実測値との比較を図5、図6に示す。

3月23日のデータを用いた解析については、計算値のハイドログラフのピークは、断続的に続く降雨中のピークに対応しているが、実測値では最後のピークしか現れていない。

8月21日のデータを用いた結果でも、計算値のハイドログラフは降雨のピークに対応しているが、実測値が2つ目の雨量の多い方のピークだけ現れている。

2つの解析結果に共通していることは、計算値のハイドログラフは降雨波形とほぼ一致する結果を得られたが、降雨開始数時間の実測値のハイドログラフ、特にピーク部が計算値のハイドログラフと大きく異なっていた。

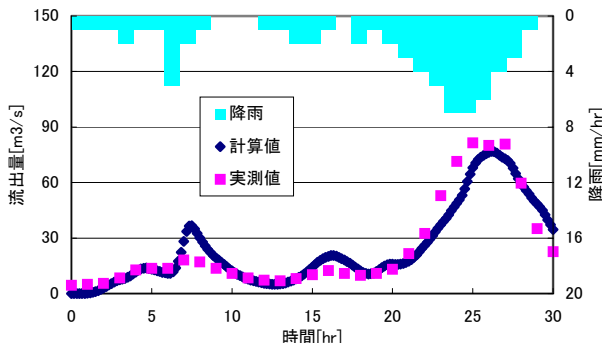


図5. 計算値と実測値の比較
(1994年3月23日)

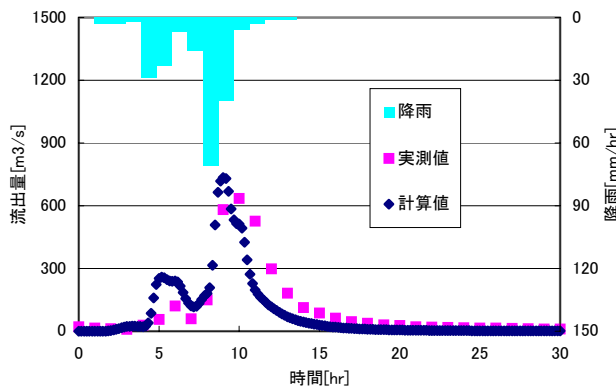


図6. 計算値と実測値の比較
(1994年8月21日)

数も土地利用区分ごとに、さらに検討すべきであるが、細密数値情報を活用するという本研究の趣旨から、ここではそのまま用いることとする。

修正法による結果を図7、図8に示す。3月23日のデータを用いた解析では、修正前の計算値よりも大幅に流出量が増加している。流域全体の5~6割ほどの都市域での損失降雨は、初期損失降雨に限定したため、3箇所に見えるハイドログラフのピーク部は1.5倍から2倍ほどに増加している。また総流出量も1.5倍になっている。8月21日のデータでも同じように、ハイドログラフの2箇所ピーク部はそれぞれ、1.8倍、1.7倍に増加し、総流出量も1.5倍に増加している。

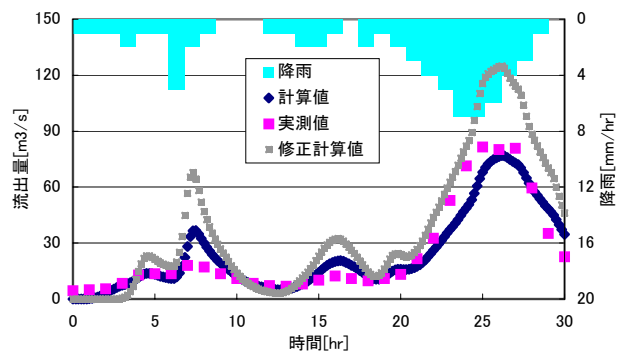


図7. 修正法での計算値と実測値の比較
(1994年3月23日)

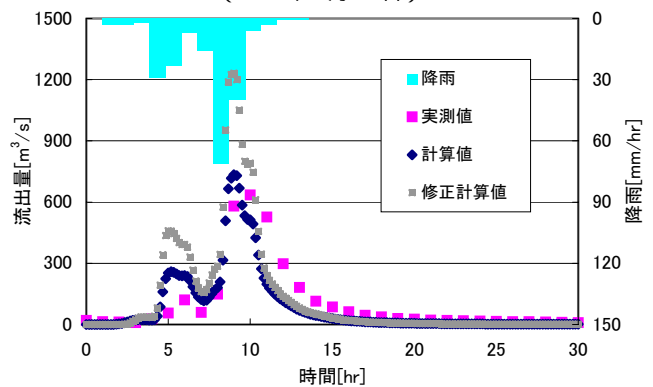


図8. 修正法での計算値と実測値の比較
(1994年8月21日)

以上の結果を踏まえ、ここでは地表面での流出に影響を及ぼす有効降雨に現実の流出現象を反映させるため、有効降雨分離モデルでの損失降雨の算定方法を修正した。

手順としては、

1) 15の土地利用区分を浸透域、不浸透域に分類する。ここでは、山林・荒地、水田、畑、造成中地、空地を浸透域とし、それ以外の区分を表層地盤が人為的に改変されている都市域と河川・湖沼のような大気と接する面での浸透現象が考えにくい区分を不浸透域とした。

2) 浸透域ではこれまで通り、流出係数を用いて、有効降雨を分離すると仮定する。

3) 不浸透域では、損失降雨は初期損失降雨のみ考慮し、初期損失降雨を差し引いた後、地中への浸透は無いものとして、すべての降雨が流出するものと仮定する。

以上の過程で、改めて解析を行った。本来なら流出係

5. まとめ

流出モデルに細密数値情報の土地利用分類を用いた場合、解析結果はこの土地利用分類には拠らないことがわかった。土地利用分類を大きく採る場合、流出係数に土地利用区分の面積に応じた重み付けをすることで、分類方法による誤差を避けることができた。また、損失降雨の算定の際に、土地利用区分ごとの流出係数を用いたが、流出解析に適用できる妥当な結果を得た。さらに解析結果の精度を高めるために、ただ一概に流出係数を用いて損失降雨を算定し、有効降雨を求めるだけでなく、今回簡易的に用いた土地利用区分ごとの浸透域・不浸透域をGIS、数値地図、細密数値情報などを用いることにより、土地利用区分内での浸透域・不浸透域にまで適用し、有効降雨を算定する必要がある。

分布型流出モデルに適用する場合、細密数値情報をGIS上で利用すると、モデルパラメータの算定に役立つことが確認できた。本研究で用いたような土地利用区分ごとにひとつの斜面とみなして流出解析を行うモデルでは、土地利用ごとの面積の算定が必要となるが、従来の紙地図の土地利用図から各土地利用の面積を求めることは非常に煩雑な作業を要する。細密数値情報をGIS上で利用すれば、簡単な作業や地図演算で、モデルに用いるパラメータを算定することができ、また、GIS上で細密数値情報だけでなく、数値地図も併用することによって、斜面勾配などの細密数値情報だけでは求めることができないモデルパラメータも求めることができた。分布型流出モデルに必要なパラメータを算定するために、地理情報をGISによって集約化する一方で、今後これらの情報は流域のデータベースとして活用できる可能性があると考えられる。

今回用いた流出モデルは有効降雨分離モデルで細密数値情報の土地利用区分に対応した流出係数を用いた。今回の結果からは実測値のハイドログラフと一致させることは困難であったため、今後モデルを改良していく必要がある。降雨強度が弱い場合には、モデルが敏感に反応したため、特に降雨開始後のはじめのピーク部が実測値との整合性が見られなかった。これは土地利用区分ごとに流出係数を用いて有効降雨を算定したが、この有効降雨では表現できない保水・遊水機能を対象流域が有していると考えられる。具体例として、流域内の雨水貯留浸透施設などの流出抑制施設による流出抑制効果が挙げられる。本研究で対象とした鶴見川流域では、以前より流出抑制施設の導入が進められている。今回の流出抑制施設を考慮していない解析の結果がピーク流出量、総流出量ともに、実測値を上回るということは、逆に流出抑制施設の流出抑制効果が現れているといえる。そこで、今後は、流出抑制施設が導入されている都市河川流域について流出解析を行う際、この細密数値情報を用いたモデルを、雨水貯留浸透施設の効果の定量化を目的とした分布型流出モデルに組み込んで、その解析精度を検討する必要がある。

参考文献

- [1]近森秀高、岡太郎、宝馨、大久保豪、“都市流域における流出モデル構築へのGISの応用”、京都大学防災研究所年報、第40号、B-2、1997年。
- [2]建設省国土地理院監修、“数値地図ユーザーズガイド”、財団法人日本地図センター、1992年。
- [3]市川新、C.マキシモヴィッチ、“都市域の雨水流出とその抑制”、鹿島出版会、1988年。
- [4]井幡英紀、松浦祐樹、岡泰道、“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”、土木学会第28回関東支部技術研究発表会講演概要集、2001年。(印刷中)
- [5]土木学会編、“水理公式集[平成11年度版]”、土木学会、1998年。
- [6]植野公博、熊耳紀明、北川善廣、“国土数値情報を用いた都市河川の流出解析”、土木学会第54回年次学術講演会、1999年。
- [7]中村衆栄、岡泰道、西谷隆亘、小寺浩二、“GISを用いた浸透能力マップの作成および分布型降雨流出モデルの構築”、法政大学計算科学研究センター研究報告、第12巻、1999年。

キーワード.

細密数値情報、流出解析、地理情報システム、分布型流出モデル

Summary.

**A Feasibility Study on Application to Detailed Digital Information
for Runoff Analysis**

Yuki MATSUURA

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

Koji KODERA

Department of Geography, Faculty of Letters, Hosei University

Yasumiti OKA

Department of Engineering, Faculty of Engineering, Hosei University

In analyzing stormwater runoff by distributed runoff model, representation of spatial distribution of geographical information is required. The purpose of this study is to estimate the applicability of Detailed Digital Information to runoff model. There remained some problems in the evaluation method for runoff coefficient in each land use and modeling of runoff control facilities in urbanized basin. However, the obtained result shows that Detailed Digital Information can be effectively applicable to distributed runoff model.

Keywords.

Detailed Digital Information, Runoff Analysis, GIS(Geographical Information System), Distributed Runoff Model