

京都大学 大学院

学生員 ○ 村上 将道

京都大学 防災研究所

正員 市川 温

京都大学 防災研究所

正員

立川 康人

京都大学大学院 工学研究科

正員 椎葉 充晴

1 はじめに 本研究では、以下のような流域流出系モデル化手法を提案する。まず対象流域に矩形格子をかける。この格子は数値地形モデルで用いるような細かい格子ではなく、対象流域をサブ流域に分割する基準となる比較的大きな(例えば $5\text{ km} \times 5\text{ km}$)格子である。ついで、この格子によって分割された水系の集水域を抽出する。椎葉ら[1]はこのような集水域のことを「水文グリッド」と呼んでいる。本研究もこれにならって「水文グリッド」と称することにする。最後に、河道網での流れと、山腹斜面系での雨水の流れをそれぞれ分けてモデル化する。

2 水文グリッド自動抽出システムの開発 本研究では椎葉ら[2]の提案する数値地形モデルをベースに水文グリッド自動抽出システムを開発する。

このモデルは、メッシュ形式の標高データと河道網流路位置データから生成される「ノード」と「エッジ」の集合体として流域地形を表現する。ノードとは、流域上に格子状に配置された点のことであり、エッジとは、ノードとノードを連結する線を意味する。

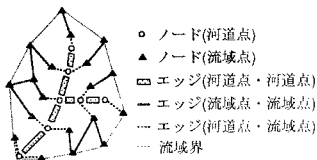


図1: ノードとエッジの概念図

水文グリッドの抽出を実現するための作業の流れを以下に示す。

1. 国土数値情報 50 m メッシュ標高データからメッシュの位置データ及び標高データを作成する。
2. 国土数値情報 河川単位流域台帳データ (ks-271) 及び国土数値情報流路位置データ (ks-272) から河道網の基本データを作成する。
3. 河道網が格子状に来るように構成し直す。
4. 接続する可能性のある流域点を仮接続する。
5. 窪地を取り除く処理をする。
6. 流域全体のノード・エッジのデータを生成する。
7. ある水系に含まれる河道点から、接続している流域点を順に辿り、その水系の集水域を抽出する。

8. 各水文グリッドごとに最急勾配方向に上る処理を加える。

作業開始時に必要な入力データは、国土数値情報 50 m メッシュ標高データ、国土数値情報 河川単位流域台帳データ (ks-271) 及び国土数値情報 流路位置データ (ks-272) で、最終的に生成されるデータは抽出した水文グリッドのノードとエッジのデータである。

3 河道網系 dynamic wave モデルの構築

一般に、河道網流れの計算を行なう場合、kinematic wave モデルを用いることが多いが、河床勾配がかなり小さい河道網での流れを計算する場合は、dynamic wave モデルの方が適していると思われる。本研究で提案する方法で低平地河川流域をモデル化することを考えると、複数のグリッドにまたがる河道網系に dynamic wave モデルを適用する手法を検討しておく必要があると思われる。

一次元非定常流の基礎方程式は次のようである。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + I_f - i_o \right) = 0 \quad (2)$$

ただし、 A は通水断面積、 Q は流量、 h は水深、 q は単位長さあたりの側方からの流出入、 g は重力加速度、 n はマンニングの粗度係数、 R は径深、 I_f は摩擦勾配、 i_o は河床勾配である。

これらの式を Preissmann スキームで差分化する。得られた式は非線形なので Newton 法などを用いて線形化する。この結果得られた式をそのまま使うと行列のサイズが大きいため、河道区分両端以外の未知量を掃き出す。次に、各河道区分で導出された方程式を用いて、各グリッドに対する方程式をたてる。こうして作成されたグリッド全体に対する方程式から、さらに分合流点での未知量を掃き出した方程式を導出する。最後にすべてのグリッドで導出された方程式、境界点での適合条件(流量・水深の連続条件)、最上流端・最下流端での境界条件から、対象水系全体に対する方程式を構成する。このようにして構成された方程式を Gauss 消去法などを用いて解く。

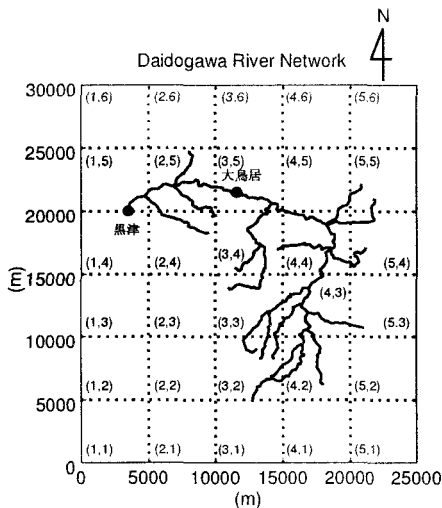


図2: 大戸川流域

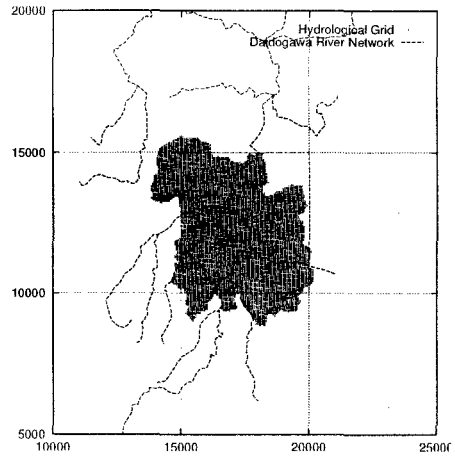


図3: グリッド (4, 3) の集水域

4 山腹斜面系 kinematic wave モデルの構築 各斜面素片において、流量 Q と通水断面積 A の間に次のような関係式を仮定する。

$$Q = \alpha A^m \text{ (あるいは } A = kQ^p \text{)} \quad (3)$$

ただし、 α 及び m (あるいは k 及び p) は定数である。また、連続式は、時刻を t 、斜面素片上端からの距離を x 、側方流入量を $q(t)$ として、

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(t) \quad (4)$$

と表される。ここで、伝播速度 c を $c(A, x) = dQ/dA$ として、上式を変形すると、

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = cq(t) \quad (5)$$

となる。この式を差分法を用いて解く。

この計算手続きを流域最上流の斜面素片から順に、すべての斜面素片に対して適用すれば、流域最下流の斜面素片からの流出量を算定することができる。

5 実流域への適用及び考察 本研究で提案する流域流出系モデル化手法を大戸川流域に適用する(図2)。

標高データと、ks-271, ks-272 データより生成された河道網地形データから、流域全体のノードとエッジのデータを生成し、水文グリッドを抽出した。例として、図3にグリッド (4, 3) の集水域を示す。

前述の作業で得られた各水文グリッドのノードデータとエッジデータから斜面素片の接続関係を表すデータセットを作成し、これを山腹斜面系 kinematic

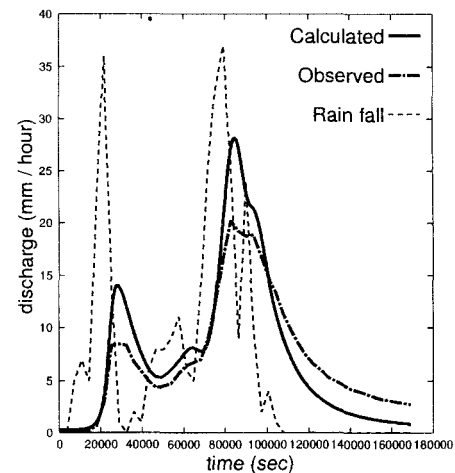


図4: 大鳥居での観測流量と計算流量の比較

wave モデルの入力として、山腹斜面系の流出計算を行なった。また、この計算結果を入力として河道網流れの計算を行なった。図4に、大鳥居(図2参照)における観測流量と計算流量の比較を示す。

6 結論 本研究では、水文グリッドという概念を用いて、流域流出系をモデル化する手法を提案し、河道網流れのモデルとして、河道網系 dynamic wave モデルを、斜面系流れのモデルとして、山腹斜面系 kinematic wave モデルを構築した。

参考文献

- [1] 椎葉 充晴・立川 康人・市川 温: 気象モデルと結合するためのマクロ水文モデルの構成法について, 水工学論文集, 第41巻, pp.1109-1112, 1997.
- [2] 椎葉 充晴・立川 康人・市川 温・榊原 哲也: 河川流域地形の新しい数値表現形式, 京都大学防災研究所年報, 第40号, B-2, pp.123-136, 1997.