

京都大学工学部 学生員 ○小椋俊博 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 従来、数値標高データや河道網流路位置データを加工することで、流域地形モデルを作成し、流域地形モデル上に雨水流れのモデルを適用するという研究が数多くなされてきた。

たとえば、陸ら[1]は、流域にグリッドを掛け、各格子点での最急勾配方向に水が流れるとして、グリッド型数値地形モデルに流れのモデルを適用した。こうした流れのモデルは一般に落水線モデルと呼ばれている。

椎葉ら[2]は、流域内の地形が流れの形態に与える影響をより忠実に表現するために、グリッド型数値地形モデルに流れのモデルを適用する新たな手法を検討している。落水線モデルの場合、各格子点において水の流れる方向が最急勾配方向の一方向に限定されるため、発散地形が流れに与える効果を表現するのは難しい。椎葉らは、各格子点において水の流れる方向を複数許すことで、発散地形の効果を流れのモデルに取り入れることを可能としている。

他にも流域地形モデル上に雨水流動モデルを適用した例は多数あるが、基本的には上流側のある地点から下流側のある地点へと雨水が流動するとして、流域内の流れを逐一追跡計算するという形式になっている。近年の数値標高データの空間分解能の向上に伴って、流域地形はより忠実に表現されるようにはなってきたが、その反面、こうしたモデルで流れを計算しようとする、多大な計算時間が必要となる。

そこで本研究では、流域地形モデルにおいて、上流から下流への流れを逐一計算するのではなく、降水-流出系が定常であると仮定することによって、地形量からパラメタ値が決定される集中型の流れのモデルを構築する。

2 山腹斜面流集中型 kinematic wave モデルの導出 山腹斜面流集中型 kinematic wave モデルは、次の3つの仮定から理論的に導出される。落水線の矢印に面積を持たせたものを斜面素片と呼ぶことにする。いま、対象流域内に N 個の斜面素片があるとする。

[仮定1] i 番目 ($i = 1, \dots, N$) の斜面素片について通水断面積 $A_i(x, t)$ と流量 $Q_i(x, t)$ の関係式は、 $A_i(x, t) = K_i Q_i(x, t)^p$ として表されたとする。式内の K_i は各斜面素片ごとに異なっても構わないが、 p は全ての斜面について一定とする。

[仮定2] 各斜面の最上流端にある斜面素片への流入量は0とする。

[仮定3] 降水-流出系は定常であるとする。このときの降水強度を r_0 とすると、山腹斜面内のある地点での流量は、その地点より上流に位置する斜面素片の面積の総和に r_0 を乗じたものとなる。

長さが L_i 、幅が B_i 、面積が M_i 、勾配が G_i である斜面素片 T_i について考える。 T_i の上流にある全ての斜面素片の面積の総和を $M_{\Phi i}$ と書く。 T_i が最上流の斜面素片であるときは、 $M_{\Phi i}$ は0である。

仮定1~3より、対象流域の全山腹斜面内の総貯留量 S は、

$$S = \frac{r_0^p}{p+1} \sum_{i=1}^N \frac{K_i L_i}{M_i} \{ (M_i + M_{\Phi i})^{p+1} - (M_{\Phi i})^{p+1} \} \\ = E r_0^p \quad (1)$$

となる。ただし、 E は斜面素片の長さ、面積、勾配等から決定される定数である。

式(1)は降水-流出系が定常であるとして導いたが、以下では降水-流出系が定常でない場合にもこの関係式が適用できるとする。すると、任意の時刻 t での降水強度 $r_0(t)$ に対して、流域内の総貯留量 $S(t)$ は、

$$S(t) = E r_0(t)^p \quad (2)$$

と書ける。

山腹斜面系からの流出量の総和を $O(t)$ と書く、仮定2、仮定3から $r_0(t) = O(t) / \sum_{i=1}^N M_i$ だから、これを式(2)に代入して、

$$S(t) = E \left(\frac{O(t)}{\sum_{i=1}^N M_i} \right)^p = \alpha O(t)^p \quad (3)$$

となる。ただし、 $\alpha = E / (\sum_{i=1}^N M_i)^p$ である。

よって、 $O(t) = \{S(t)/\alpha\}^{1/p}$ となり、集中型モデルである貯留関数法に帰着することができた。

3 実流域への適用 本研究で提案した山腹斜面流集中型 kinematic wave モデルを大戸川流域に適用する。図1は、国土数値情報 KS-272(河道網流路位置データ)をもとに作成した大戸川の流路位置図である。流域地形は国土数値情報の 50m メッシュ標高データをもとに、椎葉ら[2]の提案する手法を用いて表現した。

まず従来提案されている、斜面素片ごとに逐一流出計算するモデルと、前節で説明した山腹斜面流集中型 kinematic wave モデルを同一の領域に同一の条件で適用し、斜面下端での流出量の計算結果を比較する。図2は、番号44の図郭を拡大したものである。その図郭に含まれる全ての水系の集水域が網かけで示されている。この集水域を対象領域とする。

図3のような降水を与え、降水がすべて表面流出すると仮定して計算した場合の比較を図4に、すべて中間流出すると仮定して計算した場合の比較を図5に示す。両モデルの計算結果の差異は比較的小さく、また計算に要した時間は集中化したモデルの方が圧倒的に短くなった。

さらに、山腹斜面流集中型 kinematic wave モデルを大戸川全流域に適用し、大鳥居(図1参照)において、モデルによる計算流量と、観測流量を比較する。河道網モデルは、市川[3]が提案した河道網集中型 kinematic wave モデルを用いた。結果を図6に示す。モデルによる計算流量と観測流量は、あまり一致しなかった。本研究で構築した山腹斜面流 kinematic wave モデルでは、表面流出だけ、あるいは中間流出だけ、といった形でしか流出計算ができない。そのため、中間流と表面流が混在して生起するという実際の流出形態をうまくモデル化できていないと考えられる。

4 おわりに 降水-流出系が定常である仮定することによって、kinematic wave モデルの式を出発点として、状態量が流域内の貯留量である集中型のモデルを構築した。このモデルのパラメタ値は、一般的な集中型モデルのパラメタとは異なり、流域地形モデルから得られる地形量をもとに決定されるものである。また今後の課題としては、中間流と表面流を統合した形で流れのモデルを集中化する手法を検討することが挙げられる。

参考文献

[1] 陸 旻皎・小池俊雄・早川典生：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発，土木学会論文集，第411号，II-12，pp.135-142，1989。

[2] 椎葉充晴・立川康人・市川 温・榊原哲由：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。
 [3] 高 卓琢馬・椎葉充晴・市川 温：分布型流出モデルのスケールアップ，水工学論文集，第38巻，pp.809-812，1994。

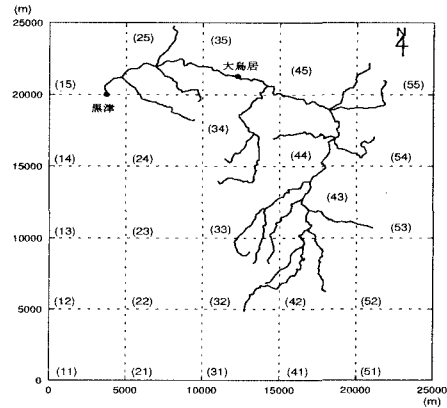


図1 大戸川流域

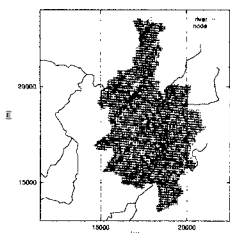


図2 番号44の拡大図

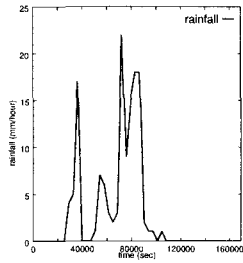


図3 降水

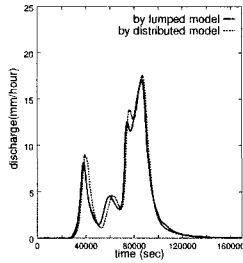


図4 表面流出を仮定

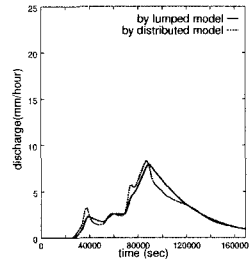


図5 中間流出を仮定

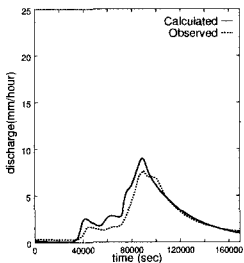
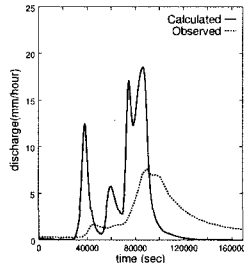


図6 大鳥居での比較(左)表面流(右)中間流