

京都大学工学部 正員
京都大学大学院 学生員

高棹琢馬
○市川 温

京都大学工学部 正員 椎葉充晴
京都大学大学院 学生員 柴田 研

1 背景・目的 降水の流出現象は水文循環の一過程であり、降水・蒸発散といった他の過程と密接に関連する。従来は、降雨流出系の分析は単独で行なわれることが多かったが、最近では、より大きなスケールで流出現象をとらえ、気象系との相互作用をも考慮に入れようという試みが多くなされている。

気象系との相互作用を考慮に入れて流出系の分析を行う場合、相互の時間・空間スケールをどのように調整するかが重要な課題となってくる。一般には、我が国での従来の流出系の分析スケールは一河川流域規模を超えるものではなく、気象系の分析スケールと歩調を合わせるには、流出系モデルのスケールアップが必要となってくる。

以上のような背景から、本論文では降雨流出系モデルのスケールアップに関して議論を行う。

2 スケールアップに対応するモデルの構成 河道網において、合流点からそのすぐ下流の合流点までの河道部分を河道区分と呼ぶ。各河道区分では、上流端からその河道区分に流入する河道区分の流出量が流入し、これに側方流入量が加わって下流し、下流端の流出量となる。

こうした河道網の流出形態に最も忠実で基本的といえる計算方法は、河道流を上流側から河道網にしたがって逐一追跡していく方法である。しかしこの方法は、対象流域が大きくなると計算に大変時間がかかり、実用的とはいえない。

また最近では地理的情報がグリッドデータとして与えられることが多い。こうした状況を直接活用するモデルとして図1のようなモデルが挙げられる。これは流域全体を細かなグリッドで覆い、格子点から格子点へと雨水の流れを追跡していくものである。

しかしながら、このようなモデルはグリッドの間隔が十分小さいときに意味があり、一定のスケール、例えば平均的な斜面長をこえるようになると物理的な意味を失ってくる。グリッドの間隔が大きくなると、グリッド間の雨水の授受のうち、河道を經由するもの

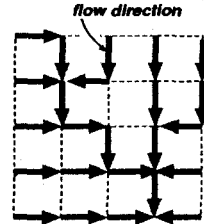


図1 グリッドデータを直接活用するモデル

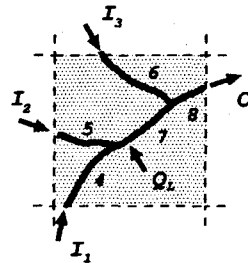


図2 グリッド内の河道網

の割合が大きくなり、斜面を經由するものの割合は小さくなっていく。したがって、グリッド間の平均的な高低差などから雨水の流れを考慮する方法は無意味になっていく。降雨流出系モデルのスケールアップに際してグリッドの間隔が大きくなると、図2に示すように、グリッド間の雨水の授受を受け持つ河道と、グリッド内部に降った雨水がグリッド内の河道に流入する機構とを分けてモデル化することが適切であると考えられる。

3 河道網系モデルの集中化 以上の考察から本研究では、図2に示すような一般的な河道網系のモデルを考えることにする。流入河道を複数個許すことによって河道網を任意に切断できるようにしている。一般的に、流入河道の個数を M と表し、流入強度を $I_1(t), \dots, I_M(t)$ と表す。 t は時刻である。また、グリッド内の側方流入強度を $Q_L(t)$ 、流出強度を $O(t)$

と表す。

対象河道網は N 個の河道区分からなっているものとする。各々には、 $M+1$ から $M+N$ までの番号を付ける。これらの番号は上流側の河道区分に若い番号が付けられているとする。

一般に、河道網内の貯留量 $S(t)$ は、河道網内部の通水断面積の分布に依存する。そこで、以下の仮定を導入する。

仮定 1. 河道区分 i の上流から距離 x の地点の通水断面積 $A_i(x, t)$ と流量 $Q_i(x, t)$ の間には、

$$A_i(x, t) = K_i Q_i(x, t)^{p_i} \quad (1)$$

なる関係があるとする。ただし、 K_i, p_i は河道区分 i に固有の定数とする。

仮定 2. 河道網内の流量の分布は河道に沿う距離とともに直線的に変化するものとする。すなわち、河道区分 i の区分長を L_i として、

$$q_0(t) = \frac{O(t) - \sum_{i=1}^M I_i(t)}{\sum_{i=M+1}^{M+N} L_i} \quad (2)$$

とおくとき、

$$Q_i(x, t) = Q_i(0, t) + q_0(t)x \quad (3)$$

とする。仮定 1 により、

$$A_i(x, t) = K_i \{Q_i(0, t) + q_0(t)x\}^{p_i} \quad (4)$$

となる。

とすると、河道区分 i の河道内貯留量 $S_i(t)$ は (4) 式を x について積分して求められる。したがって河道網内貯留量は $S(t) = \sum_{i=M+1}^{M+N} S_i(t)$ として求められ、 $S(t)$ は $I_1(t), \dots, I_M(t), q_0(t)$ の関数になる。 $q_0(t)$ は、(2) 式によって定まるので、 $S(t)$ は、 $I_1(t), \dots, I_M(t), O(t)$ の関数とも言える。これを

$$S(t) = F_0(I_1(t), \dots, I_M(t), O(t)) \quad (5)$$

と表す。一方、河道網系の連続式は

$$dS/dt = \sum_{i=1}^M I_i(t) + Q_L(t) - O(t) \quad (6)$$

と書ける。したがって (5) 式、(6) 式で与えられる微分方程式から流出量 $O(t)$ を求めればよい。

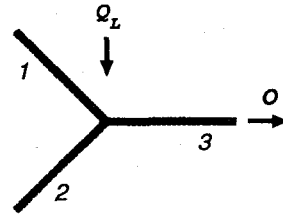


図3 河道網の構成

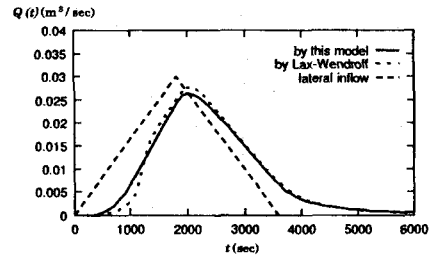


図4 計算結果

4 計算例及び考察 以上の議論から構成された河道網系モデルの計算例を示す。用いた河道網の構成は図3の通りである。また、各河道区分の諸量は全て同じで、kinematic 定数 $K = 0.5, p = 0.5$ 、河道区分長 100 (m)、河道幅 10 (m) である。側方流入は二等辺三角形とした。計算結果の比較対象として、kinematic wave の差分解法 (Lax-Wendroff スキーム) [1] による追跡計算を行なった。

計算結果を図4に示す。流出ハイドログラフの立上り時刻やピーク流量にやや違いがあるが、まずまず良好な結果が得られている。しかし、これは仮想的な河道網に対する計算結果であって、今後、実際の河道網に対する本モデルの妥当性に関して検討が必要である。

5 結論 本研究では、降雨流出系モデルのスケールアップを背景とした河道網系モデルの集中化を行ない、これを用いた計算例を示した。今後の課題としては、グリッド内の側方流入強度 $Q_L(t)$ の計算手法の構築、実河道網に対する本モデルの妥当性に関する検討などが挙げられる。

参考文献

- [1] 椎葉充晴：流出系のモデル化と予測に関する基礎的研究，京都大学博士論文，pp.18-20, 1983.