

第II部門

分布型降雨流出モデルにおける雨水移動の時空間履歴追跡手法に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○ 辰巳恵子
 京都大学防災研究所 正会員 佐山敬洋
 京都大学防災研究所 正会員 立川康人
 京都大学防災研究所 フェロー 寶 馨

1 研究の目的 分布型流出モデルは降雨流出現象を物理的に再現できる。しかし下流端での計算流量結果が観測流量を再現できていても、モデル内で流出過程を的確に再現しているかどうかは明らかでない。本研究では分布型流出モデル上で流域に降った雨が空間的・時間的にどのようなプロセスを経て河道に流出するのかを表現する時空間履歴追跡手法を開発する。

2 時間履歴と空間履歴の概念 本研究では以下に示す流出水の時間履歴と空間履歴に着目する。時間履歴とは降雨が流域に到達した時刻を意味し、空間履歴とは降雨がどこに到達したかを意味する。この概念を用いることにより図1で示すように時間的、空間的な性質で降雨と流出を視覚的に区別して考える。

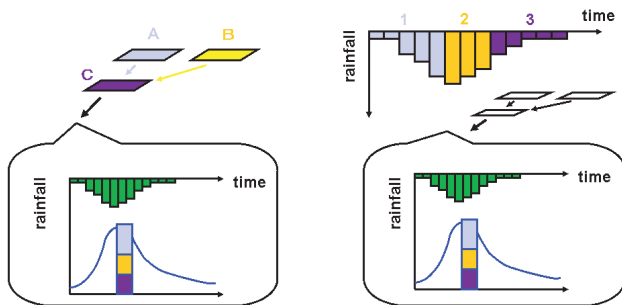


図1 時空間起源別に雨水を色づけして視覚化

図2中の表に示すように縦軸に空間履歴、横軸に時間履歴をとる時空間構成比マトリクスを考え、これを分布型流出モデルで追跡するトレーサとみなす。縦軸と横軸が交差する位置に格納されている値は任意の時空間履歴を持つ雨水が現在時刻の貯留水に占める割合を示す。時空間構成比マトリクスの変化を時々刻々計算することにより流出する水がいつどこに降った雨で構成されているかを明らかにする。

3 時空間履歴追跡手法の開発 本研究で用いる分布型流出モデル[1]が想定する流出過程を時空間履歴

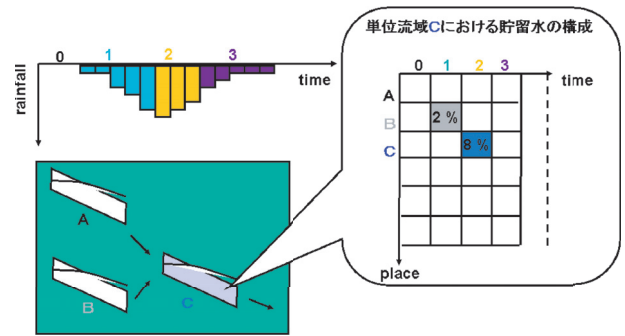


図2 各単位斜面が持つ時空間履歴構成比マトリクス

追跡に反映させるため、不飽和地中流、飽和中間流、表面流にそれぞれ異なる時空間構成比マトリクスを持たせる。図3中の Q^m , Q^s , Q^o は不飽和地中流、飽和中間流、表面流を示し、 Q_{in} , Q_{out} はそれぞれ各層への水の流入と流出を示す。各層から流出した水は下流側の同じ層に流入するものとする。 Q^{sm} , Q^{os} はそれぞれ各層間の水のやりとりを示し、これは流入量と流出量のバランスから決定する。 Q_{rain} は単位斜面に到達する降雨量を表す。各層で流入出に伴う水の混合は瞬時に行われるものとする。

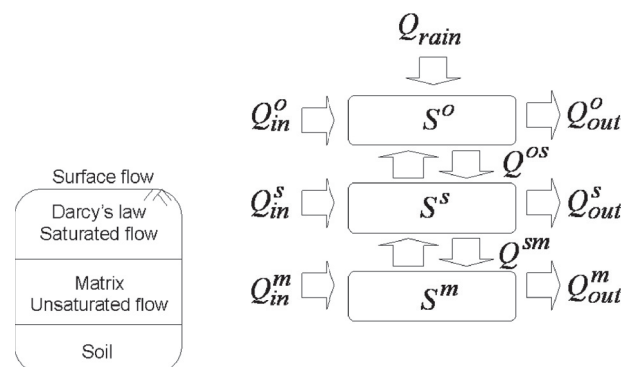


図3 不飽和・飽和中間流・表面流混合型モデル[1]で想定している水の流れ

各層において時空間構成比マトリクスの変化を計算する。一例として地表層における貯留水の構成比変化を計算する式を(1)式に記す。

$$\frac{d(R^o(t)S^o(t))}{dt} = Q_{in}^o(t)R_{in}^o(t) - Q_{out}^o(t)R_{out}^o(t) \quad (1)$$

ただし

$$\begin{aligned} Q_{in}^o(t)R_{in}^o(t) &= \sum_n q_{in}^o(t)r_{in}^o(t) - Q^{os}(t)R^{os}(t) \\ &\quad + Q_{rain}(t)R_{rain}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

であり、 R^o 、 R_{in}^o 、 R_{out}^o 、 R^{os} 、 R_{rain} 、 r_{in}^o はそれぞれ地表層の貯留水、地表層への総流入水、地表層からの流出水、地表層から下層（飽和透水層）への移動水、地表層に到達する雨水、各上流側単位斜面から地表層への流入水の時空間構成比マトリクスである。また S^o は地表層の貯留水量 [m^3]、 n は流入を考慮すべき上流側単位斜面の数を表す。式 (1) を解き、 $R^o(t+1)$ を算出した。他層に関しても貯留水の構成比変化に着目して同様の計算を行った。

4 小流域への適用 時空間履歴追跡手法を面積約 $7km^2$ の流域を対象とした降雨流出計算に適用した。図 4 に流域に達した時刻に応じて 5 種類に色分けした降雨が流域下流端のハイドログラフをどのように構成しているかを示す。初期水を示す黄色の雨水と降雨初期に生じた水色の雨水は大きな流量ピークを持たず、降雨ピーク時に生じた青色の雨水や緑色の雨水は明確な流量ピークを持つことがわかる。

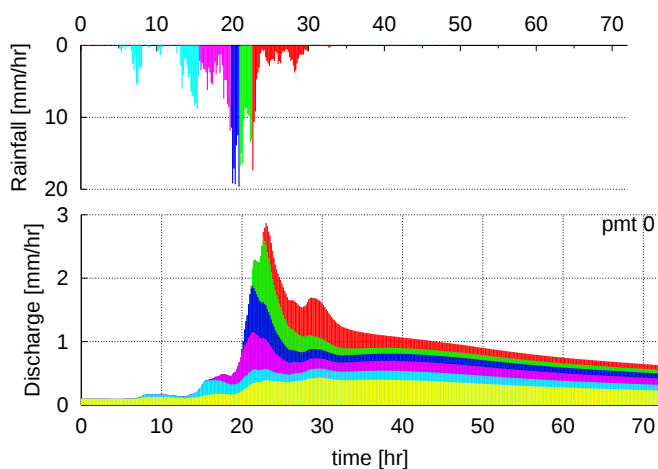


図 4 降雨の時間履歴ごとに色分けした流出ハイドログラフ

図 5 は地中を流れる流出水を考慮して流出計算を行った場合と考慮せずに流出計算を行った場合との空間的な流出特性の比較を示した図である。図中で橙色

の線は河道を表しており、当該時刻に河道に流入する雨水が流域のどの部分を空間起源としているか、その割合と図中上辺に示す基準を対応させて色分けした。二つを見比べると、地中流出を考慮して計算を行っている左の方が同時刻の右の図より流出水に寄与する空間が下流付近に集中していることがわかる。

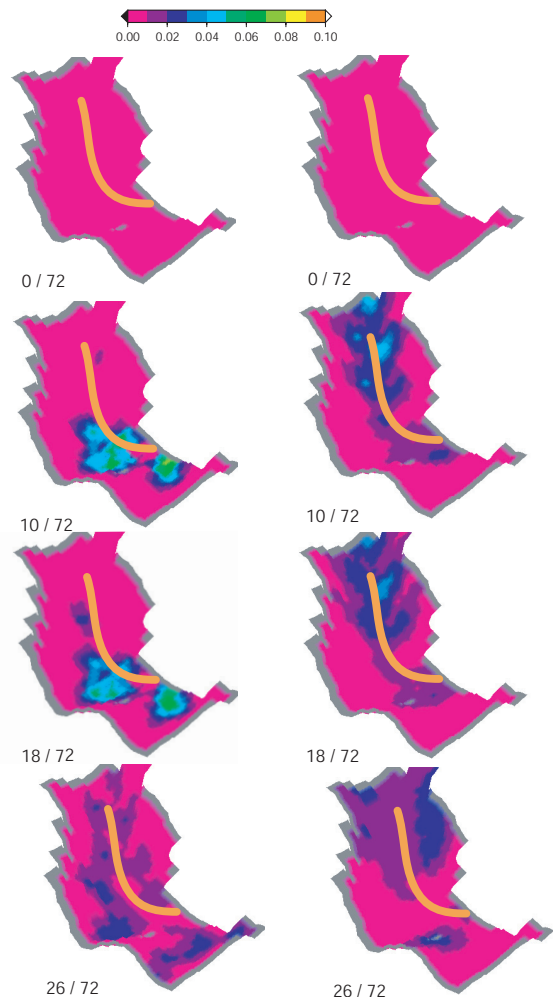


図 5 地中流出を考慮する場合（左）としない場合（右）の流出水の空間起源

5 まとめ 本研究では流出モデル上で時空間履歴を追跡する手法を提案した。この結果と観測結果を照らし合わせることで、流出モデルが実際の降雨流出過程を的確に再現しているかどうかを評価することが可能となる。

参考文献

- [1] 立川康人, 永谷言, 寶馨: 飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 第 48 巻, pp7-12, 2004.