

II-49 トレーサの拡散解析による斜面流出の解析

愛知県 正員 牧 昌志
名古屋大学工学部 正員 松林宇一郎 高木不折

本研究の目的

流出現象の解明は通常は降雨と流出量という水量の観点から取り扱われる場合が多い。これに対して、著者らは流出水の水質の時間変化を横糸として用いることにより、より真実に近い流出水の挙動を明らかにしようとしてきた。これまで、斜面数直方向1次元不飽和浸透+斜面流下方向K. W. 法の解析ならびに斜面垂直・流下方向2次元不飽和浸透の解析を行い、さらにトレーサについてマーカを用いた追跡を行った。そして、これらの解析より後者の方がより現実に近いという結果を得た。そこで本研究では斜面内の流れを不飽和浸透流と考え、さらにトレーサ濃度の変化はFickの拡散方程式によって記述できると仮定して数値計算し、実測値との比較によって斜面内の流れを議論した。

解析方法

本研究で対象とした流域は、犬山試験流域（愛知県犬山市、流域面積：6400m²）である。（図-1）本流域では水文観測として雨量と流量の他に、雨水・流出水中に含まれる安定同位体¹⁸Oの濃度も出水時に観測している。

本研究では、流域形状が単純なことから、代表的な斜面を取り出し斜面垂直方向・流下方向の2次元の差分モデルにより浸透流をRichardsの式（(1)式）により、トレーサの拡散をFickの方程式（(2)式）により表し、両者を連立させて数値解析した。ただし、濃度は浸透流に影響しないものとした。なお、不飽和浸透流の ϕ - θ 、K- ϕ 関係は谷の式を用い、そのパラメータは実測値により、又あるものは試行錯誤により決定した。又、濃度解析で用いた拡散係数DmについてはDe Smedt & Wierengaの提案式を参考にして(3)式で与え、式中のパラメータDo、Dcについては試行錯誤により決めた。

浸透流計算の初期条件は、斜面全体を仮の湿潤状態にし重力排水によって流出量が実測の初期流量に等しくなる状態を初期条件とした。境界条件は上流端・底面を不透水、表面は降雨による給水条件、下流流出面は浸出面の条件を考慮したものと、全水頭に $\partial^2 \phi / \partial x^2 = 0$ の条件を与えた便宜的な方法とを用いた。

濃度解析の初期条件は斜面全体が初期流出水の濃度（古水濃度）に等しいと仮定した。境界条件は地表面では降雨の濃度を与え、他の境界では $\partial^2 C / \partial x_n^2 = 0$ となるように与えた。（ x_n は境界法線方向座標）

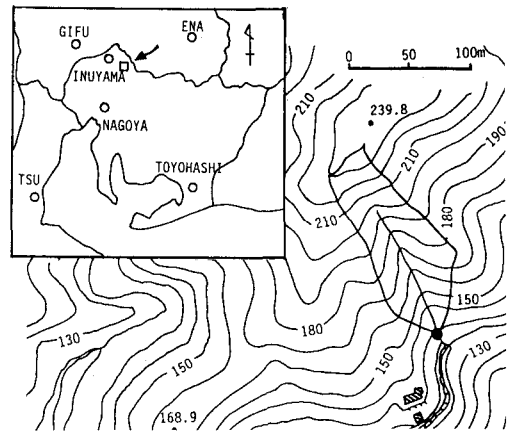


図-1 流域の概要

$$\Theta(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right\} \quad \dots (1)$$

K(θ): 透水係数, ϕ : 全水頭で $\phi = \phi + z$ (ϕ : 毛管圧水頭, z : 位置水頭)、 $\Theta(\phi)$: 比水分容量

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} \right) + D_m \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad \dots (2) \quad D_m = D_\theta \cdot q + D_c \quad \dots (3)$$

C: トレーサの濃度, (u, w): 流速ベクトル, D_m : 拡散係数, $q = \sqrt{u^2 + v^2}$, D_θ , D_c : 定数

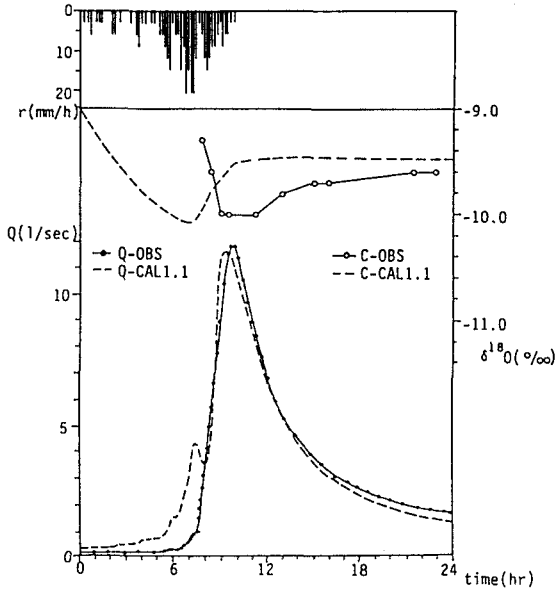


図-2 流量・濃度の計算結果

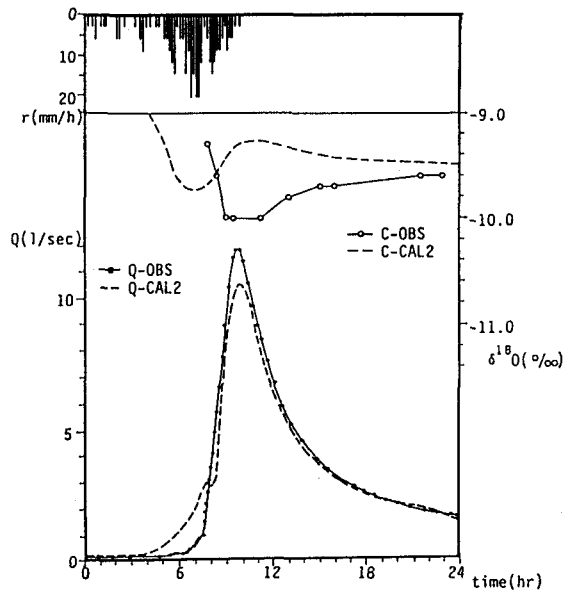


図-3 初期損失を考慮した計算結果

解析結果と実測値との比較

図-2に計算結果を示す。図では上段から順に降雨、 ^{18}O 濃度、流出量を、それぞれ実線で実測を破線で計算結果を示している。まず、流量については実測と計算値はほぼ一致しており、このモデルで現象をよく表しているようにみえる。しかし、これを濃度でみると、降雨初期に計算の流出水濃度が実測より雨水の濃度側（ -11.3 ‰ ）にずれていることがわかる。これは、初期降雨が量的には少ないが早く流出したためと考えられるので、図-3では初期降雨が一旦保留され流出しないとして計算した。これによって初期での大きな差はなくなったが、濃度の立ち上がり早い傾向は変わらず、また流出のピーク時には実測とは逆に古水の濃度に近くなる傾向がみられる。

まとめ

以上のように、前報と同様流量としては実測と一致したが、トレーサまで一致させることはなお難しい。今回の解析を通じ明らかとなった点及び今後の検討事項をまとめると以下のとおりである。

- 降雨の初期損失は流量からよりむしろ濃度の面から考慮が必要である。
- 本論では詳しく説明しなかったが、下流端で厳密・簡便2通りの条件を扱い、両者の結果に大差の無いことが分かった。
- 今回、特にFickの拡散方程式による解析を行ったが、不飽和浸透での妥当性を検討する必要がある。
- 計算と比べて実測では、流出ピーク時により多くの新水（雨水の濃度をもった水）が流出しており、これを説明するためのメカニズムの解明とモデル化が必要である。

【参考文献】

松林・津山・高木：トレーサによる流出機構解明の1手法、水文学会1990年研究発表海要旨集