

トレーサーによる斜面流出の流出成分に関する考察

名古屋大学工学部 正員 松林 宇一郎
 名古屋大学工学部 学生員 津山 尚
 名古屋大学工学部 正員 高木 不折

はじめに

近年、流出現象の素過程を明らかにするため小試験流域での詳細な観測が行われている。その際、一つの方法としてのトレーサー法がある。これは、降雨中のトレーサー濃度と地中水のトレーサー濃度の違いを利用し、流出経路に関する情報を得ようとするものである。本研究は自然水中に含まれる安定同位体である $\delta^{18}\text{O}$ をトレーサーとし山腹斜面の流出過程を明らかにしようとするものである。

対象流域と水文観測

対象とした流域は愛知県犬山市の名古屋大学地震観測所近くの沢の流域（流域面積 $6400\text{K}\text{m}^2$ ）である。図1に流域の地形を示す。この地域の地質は主に古（中）生代のチャート・頁岩であり、渡辺らの調査によれば表土層厚は、沢近傍で $1\sim 1.5\text{m}$ 、尾根部で 30cm 程度である。本研究で行った水文観測は流量と雨量（自記）と出水時に行う降雨ならびに流出水の $\delta^{18}\text{O}$ 濃度の測定である。

トレーサーによる流出水の分離

図2は平成元年6月28日の降雨（棒グラフ）による流出量（実線）並びにトレーサー濃度（●印）の変化を示したものである。この時の降雨は 63mm であり中程度の大きさであった。また、前期の無降雨期が充分有り、出水前の流出はいわゆる地下水流出であり前の降雨の影響はないと考えられる。そこで、これらのデータを用い流出量を地中水の成分と降雨の成分に分離することを考える。

これは流量とトレーサーの保存式（1）を解いた（2）式で計算される。

$$QT = QS + QG, \quad CT \cdot QT = CS \cdot QS + CG \cdot QG \quad (1)$$

$$QS = QT \cdot (CT - CG) / (CS - CG), \quad QG = QT \cdot (CT - CS) / (CG - CS) \quad (2)$$

ここに、 Q は流量、 C は流出水の $\delta^{18}\text{O}$ であり、添え字 T, S, G はそれぞれ全流出量、降雨の流出成分、地中水の流出成分を示す。 CS は降雨の $\delta^{18}\text{O}$ を、 CG は前日の流出水の濃度を用いる。（2）式で計算された QG は図2では破線で示されている。この結果を、著者らが取り扱っているもう一つの流域、兼平流域（花崗岩、 $0.078\text{K}\text{m}^2$ ）と比べると本流域は QG/QT の値が小さい（約0.6）が降雨に対する流出率自体が大きい（約0.9）ため QG はかなり大きな値となっている。

地中水としての流出の可能性

この QG は当然ながら流出前から流域内にあったはずであるから、まず、この点を検討する。この評価のためには表層土の保水特性が必要である。ここでは、実測値ではないが、渡辺らが不飽和浸透解析で用いた特性を参考にすることにする。すなわち、表層厚を沢近傍： 2m 、尾根部： 0.6m 初期平均含水率を 0.06 とすると、初期状態での土中水の総量は約 500m^3 であり、成分分離で計算した地中水の総流出量は約 240m^3 であるから、ボリューム的には地中水としての流出の可能性は充分ある。

不飽和浸透流モデルのトレーサーによる検討

この様な、直接流出のなかに地中水がかなり多く含まれる構造として、これまで、①Sklash & Pavlodenは降雨により河道近辺の地下水面に一時的な尾根が形成されるため地下水流出が増加する。

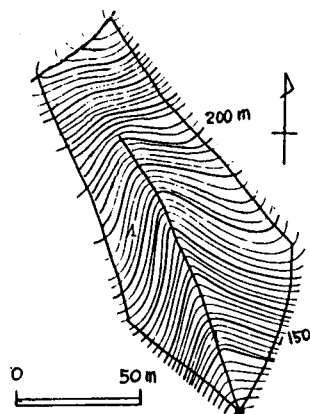


図1 犬山流域の概要

②佐倉・谷口は毛管力と重力の平衡状態が降雨によって崩れるため地下水の速い応答が現れる。
 ③Hewlett & Hibbertはピストン流的に土壌下層から古い水が押し出される。
 ④Jonesは特に湿潤地でのパイプフローが地中水流出を促進する。等等を考えている。しかしながらこれらの現象に対するパラメーターを決めるまでには至っていないので、ここではまず不飽和浸透流モデルでトレーサーによる分離をどれだけ説明できるか検討する。逆に言えば、従来は流出量のみで評価されていたモデルを、トレーサーによる拘束条件を付けることにより、さらに実際の現象に近づけようとするものである。

ここでは簡単のため、図1の斜面の最急勾配線に沿って代表的な単位幅当りの鉛直2次元のモデル(図3)を考え以下の手

順で解析する。まず、基礎式は毛管ポテンシャルを未知数とするリチャーズの方程式(式(4))であり、これを図3の差分メッシュを用いて流れの場を数値的に解析する。

$$C(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial t} = k(\theta) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k(\theta) \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \quad (4)$$

ここに $C(\theta)$ は比水分容量、 ϕ はポテンシャル、 θ は飽和度、 $k(\theta)$ は不飽和透水係数である。次に、初期水分に応じてマーカーを配置し、また地表面には同様に降雨を示す別のマーカーを発生させ、流れの場に乗せてどの様に動くかを追跡する。こうして斜面下流端に現れるこれら2種類のマーカーの個数を計測することにより雨水と、地中水の成分比を求める。

なお、具体的な計算結果については当日発表する。

謝辞： 本研究において、 $\delta^{18}\text{O}$ 濃度の計測は名古屋大学水圏科学研究所の加藤喜久夫先生に全面的に協力して頂きました。ここに、謝意を表します。

(参考文献)

渡辺・山中：一般的な山地小流域における地下水流出の3次元浸透解析と問題点、第30回水理講演会論文集、1986

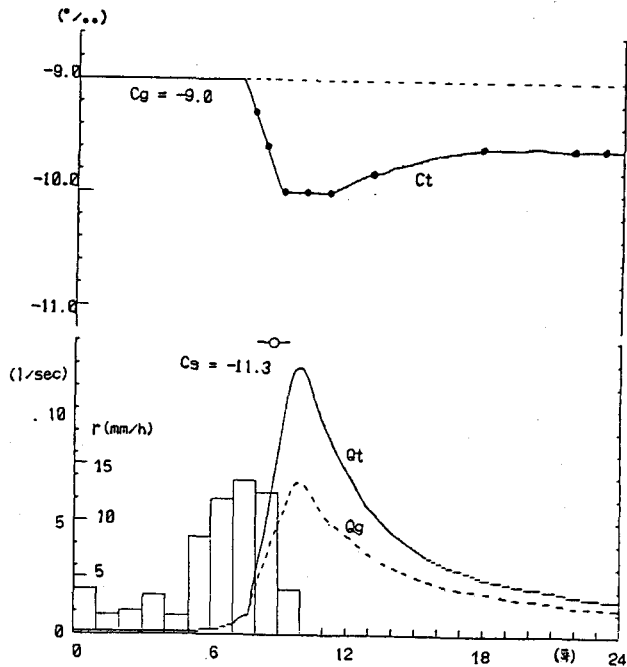


図2 1989年6月28日出水の観測結果

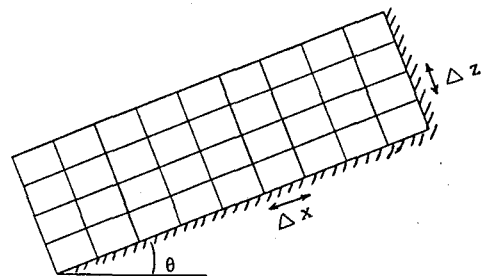


図3 斜面モデルの差分分割