

電気伝導度を用いた流出成分の分離

名古屋大学工学部 正 員 松林宇一郎

名古屋大学大学院 学生員○G. T. Velasquez

名古屋大学工学部 学生員 牧 昌志

名古屋大学工学部 正 員 高木不折

1. 序論

トレーサーによる流出水の分離は、流出過程のメカニズムを理解する上で有益な情報をもたらすものとしてこれまで種々の方法が検討されてきた。その中の一つに比電気伝導度がある。電気伝導度は物質中の電気の伝わり易さであり、液体の場合は一定距離隔たった点間の電気伝導度すなわち比電気伝導度 SC で表す。

本研究では、トレーサーとしてこの SC を用い、流量とトレーサーの保存則である次式を用いて流出成分の分離を行う。

$$Q_n + Q_o = Q_t, \quad (1-a)$$

$$Q_n C_n + Q_o C_o = Q_t C_t, \quad (1-b)$$

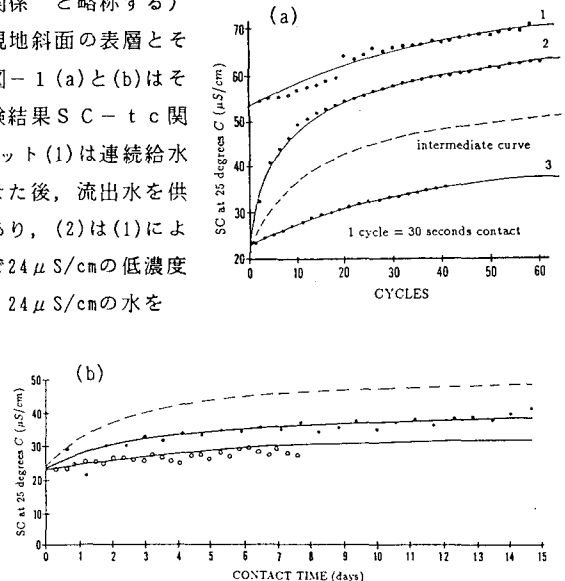
ここに、 Q 、 C はそれぞれ流出量とその SC 値であり、添え字 n 、 o 、 t は順に新水（今回の雨による流出水）、古水（地中に貯蓄されていた以前の雨が流出したもの）、それらが混合って流出点に表れた流出水を意味している。そしてこの基礎式を実際の問題に適用する場合は、後述する接触時間効果、流下経路の相違、多峰降雨などを考慮した C_n や C_o の評価を適切に行う必要がある。そこで、本研究では室内実験、現地実測によりこれらの特性を明らかにし、成分分離を行った。

2. 比電気伝導度の変化特性

流れ場での比電気伝導度は、流れにおける混合の程度、土壌の特性、並びに雨水と土壌のイオン濃度等の要因によって変わるので、斜面での雨水の流下経路によって大きく異なるものと考えられる。そこで、本研究では雨水（新水）の比電気伝導度すなわち(1)式の C_n の時間変化を流出特性の異なる表面流出と地中を経由する流出に分けて取り扱う。

まず、 SC と接触時間関係（以下“ $SC-t$ 関係”と略称する）を表面流と地中流について明らかにするために、現地斜面の表層とその下層から採取した土壌を用いて実験を行った。図-1 (a) と (b) はそれぞれ表面流と地中流に対する接触時間効果の実験結果 $SC-t$ 関係を示したものである。図-1 (a) で一連のプロット(1)は連続給水 ($54 \mu S/cm$) により流出水の SC 値を平衡状態にさせた後、流出水を供給して繰り返し給水し接触時間効果をみた実験であり、(2)は(1)により装置内の水がほぼ平衡 ($70 \mu S/cm$) に達した時点で $24 \mu S/cm$ の低濃度の水を繰り返し給水した場合、(3)は(2)の実験後、 $24 \mu S/cm$ の水を連続給水し平衡状態にした後、繰り返し実験に切り替えた結果である。図-1 (b) は地中流に関する $SC-t$ 関係についての同様な実験結果である。この曲線は、土壌条件と供給水によって曲線群になるが、図中の破線はその一例を示したものである。

さて、実流域の末端で時刻 t に観測した水の C_n 値は各降雨の生起時刻からその時刻までの接触時間による変化を受けているので、降雨生起時刻を原点とする $SC-t$ 曲線により推定できる。つぎに雨水の流出形態（地表流と地中流）による C_n 値

図-1 $SC-t$ 関係 (a):地表流, (b):地中流

の相違を考える。これは Horton 型の地表流を考えることにより、地表流と地中流の C_n を $C_n^s(t)$, $C_n^{ss}(t)$ 降雨 R のうち地表流成分を R^s , 地中流成分を R^{ss} として、地表流と地中流を合成した $C_n(t)$ を次式で表した。

$$R^s = \begin{cases} R - A & ; R \geq A \\ 0 & ; R < A \end{cases} \quad R^{ss} = \begin{cases} A & ; R \geq A \\ R & ; R < A \end{cases} \quad (2)$$

$$C_n(t) = C_n^s(t) * (R^s/R) + C_n^{ss}(t) * (R^{ss}/R), \quad (3)$$

また、長期間の降雨に関する C_n の求め方については、各降雨が互いに独立に挙動すると仮定し、重ね合わせの方法を用いて次式のように連続的な降雨に対する合成された $C_n^c(t)$ を与えた。

$$C_n^c(t) = \frac{\int_0^t C_n(t-\tau)R(\tau)d\tau}{\int_0^t R(\tau)d\tau} \quad (4)$$

3. 犬山試験流域への適用と考察

実流域への適用例として、犬山試験流域（愛知県犬山市、流域面積 6400 m²）における1990年10月31日～11月1日の17mmの降雨による出水を解析した。この降雨強度は、本流域の浸透能と比べて極めて小さいので地中流のみによる計算を行っている。

図-2は観測データと解析結果をまとめて示したものである。まず、 C_n については降雨開始直前の流出水の SC 値 $54 \mu S/cm$ を用い、出水中一定とした。一方、 C_n については、 $SC-t$ 曲線として、図-1(b)の上側の曲線を用いた。分離の結果を図-2に破線で示した。破線の下側が古水、破線と実線にはさまれた部分が新水の成分である。なお、同図には比較のため C_n を降雨の値 $24 \mu S/cm$ で一定

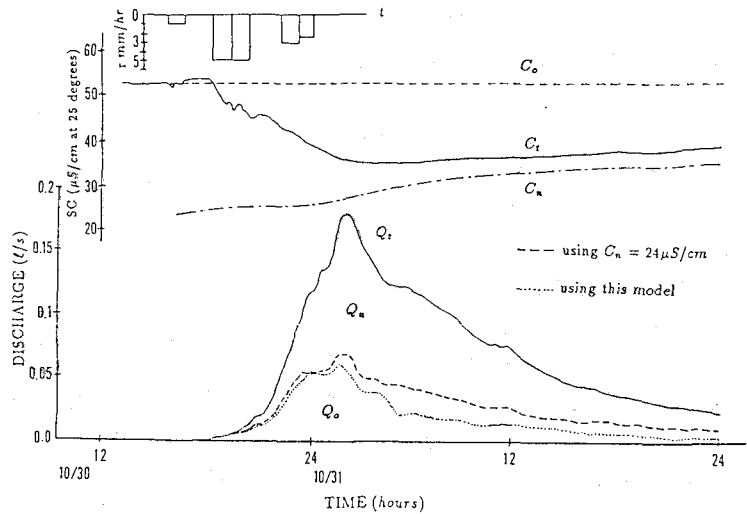


図-2 流出成分の分離結果（1990年10月31日～11月1日）

とした結果も一点鎖線で示している。図から流出の前半は古水が多く、後半に新水が多くなっていることが分かる。また、 $C_n = 24 \mu S/cm$ と一定にした場合と比べると低減部において新水の割合が増加している。このことは、地中流の降雨による押し出し的流れが卓越することを示唆している。また、古水と新水の比率は10/30 13:30～11/1 24:00の期間で平均すると古水25.3%に対し新水74.7%である。本流域ではすでに $\delta^{18}O$ を用いた分離を1989年9月のデータを用いて行っているが、これによると、古水と新水の割合はおおよそ60%、40%であり今回の結果とは逆の傾向を示している。この点に関して Nolan(1990)は、 $\delta^{18}O$ と比べて SC 等の化学トレーサーを用いた場合には化学反応などにより、特に低減部での信頼性が低いと述べており、本研究の結果も含めてその取り扱いにさらに検討すべき点が残されている。

4. 結論

流出水の比電気伝導度による古水と新水の分離は、Pilgrimをはじめとして多くの研究者によって研究されてきた。その中で、本研究では、地表流、地中流といった流出形態の相違、長期間の連続降雨に対する C_n の評価法を提案し、また、 $SC-t$ 関係についても、地表流と地中流に分け現実に即した実験を行いその変動特性を明らかにした。その結果、土壌の条件に応じた曲線群で表されることを見いだしたが、実際の適用においてどの曲線を選ぶかは、土壌の状態の把握が困難であるため今後の課題として残された。