

宮の森小試験地の流出特性—E260及びEC発現成分をトレーサとした解析—

Runoff characteristics in the MIYANOMORI small watershed

—Analysis using water quality information—

北海道大学大学院	学生員	洪 廷芳	T.Hong
北海道大学工学部	正員	山田 正	T.Yamada
北海道大学工学部	正員	亀井 翼	T.Kamei
北海道大学工学部	正員	長谷川和義	K.Hasegawa

1. はじめに

近年河川流出量の変化に伴う水質濃度の変化を利用して降水に対する流域の流出応答特性を把握する試みが行われている(例えば1)。流域の流出応答特性を評価するため、自然由来の水質指標の条件としては、(1)各水質指標が土壌表層及び中間層などの固有成分であり、かつ(2)流出中に生分解反応などの影響を受けない安定成分であることが必要である。表層腐植層に豊富に安定に存在するフミン質の指標としては紫外部260nmにおける吸光度(E260)²⁾、表層腐植層よりは深層において存在量が多いと考えられる無機イオン成分の指標としては電気伝導度(EC)が上述の条件を満足し、迅速簡単に計測し得る指標と考えられる。本論文では、上述の各層に固有な水質指標の河川水質に対する寄与率を基本として、流出機構を評価し得ることを札幌市宮ノ森試験地を例として検討したものである。

2. 対象流域とその測定項目

(1) 対象流域とその特徴

試験地は札幌市の北西部に位置するミズナラ、イタヤ、カエデ等広葉樹混合林の源流域である。図-1(a)に流域の位置と地形を示す。土壌層は地面から2cm-5cmの枯葉、そして10cmの腐植物を含むA層30cmのAB層、またはB層の順に構成され、深さ45cm以下は岩と粘土とを混ぜた難透水層C層である。河道左右岸は長さ5m-10m、40°-45°の急勾配斜面、他は30°以下の比較的緩勾配斜面である。

(2) 測定項目

林外降雨は転倒マス雨量計で測られている。林内雨については樹冠通過雨量が4ヶ所、樹幹流は2ヶ所で測定されている。さらに流域内の上流と下流で流域斜面の土層表面より深さ10、20、30cmごとの計10ヶ所に減圧方式により土中水の採水が行われている。図-1(b)は採水の位置を示す。河道流出は三角堰2台を流域合流部及びその約100m下流に設置し差圧式水圧計により流量測定を行った。

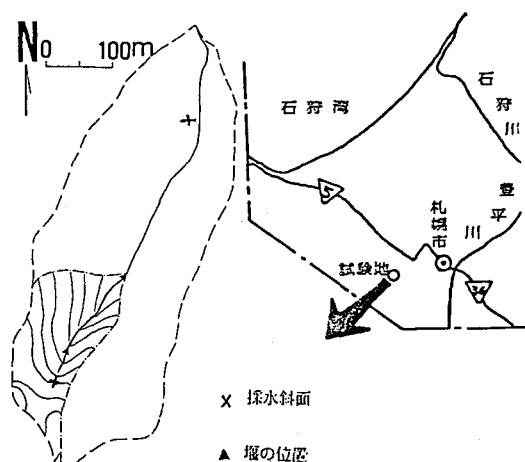


図-1(a)流域の位置と地形

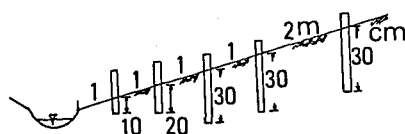


図-1(b)採水位置(深さ)

3. 観測結果

(1) 一雨平均の測定結果

図-2は主に小降雨の後の採水による樹冠降雨・樹幹流・土中水・河川水のE260、EC値と流出ハイドログラフを示したものである。ここに、河川水は採水時の値、そのほかは一雨降雨の平均値である。

(a) E260について：樹幹流は木の種類により、樹冠降雨は場所により水質が変化するが、深さご

とに採水した土中水はより安定な値を示している。ここで注目すべきは土中水のE260は表層ほど高い値を示し深くなるにつれてその値は減少しており、一方河川水のE260は土層20cmまでの土中水および樹幹流・樹冠降雨のE260より一けた小さい値を示している事である。この事から小降雨時では河川水はほとんどB層、すなわち20cm以下からの流出である事が考えられる。また、土中水のE260は時間的にほとんど変化していないことから水文流出トレーサとしての有用性がうかがえる。ところで通常の自然界における濃度レベルではフミン質濃度は吸光度に比例するのでE260に流量を乗じることによりトレーサとしてのフミン質量を表現できる。図-3は縦軸に河川水のE260と流量Qの乗積(L)、横軸に流量Qを両対数で表している。これを(1)式で表すと指

$$L = \alpha Q^{\beta} \quad (1)$$

数 β は約2.0になっている。

(b) ECについて：樹冠降雨及び樹幹流のECはE260と同じように場所によって異なる値を示している。土層深さ毎のECはE260と違う変動を表し、表層ほどより小さい値をとる。しかし同じ土層深さのECはE260より変動幅が大きい。また、E260のような深さの違いによるケタ違いの値を取ることは見られない。すなわち土中水のECは深さとの相関が小さいと言えよう。また、土中水のECは河川水のECと同程度の値を取るが樹冠降雨・樹幹流のECと比較すると土中水の方が2倍-3倍大きい値を取っている。土壌の洗脱、吸着によって土中水の溶存イオン量が変わり、ECの変動は降雨量及び流量と深い相関を持っている。図-4(a)は横軸に採水時までの累加流量、縦軸にECを表示したもの

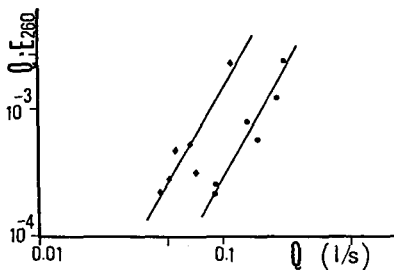


図-3水質量と流量の関係

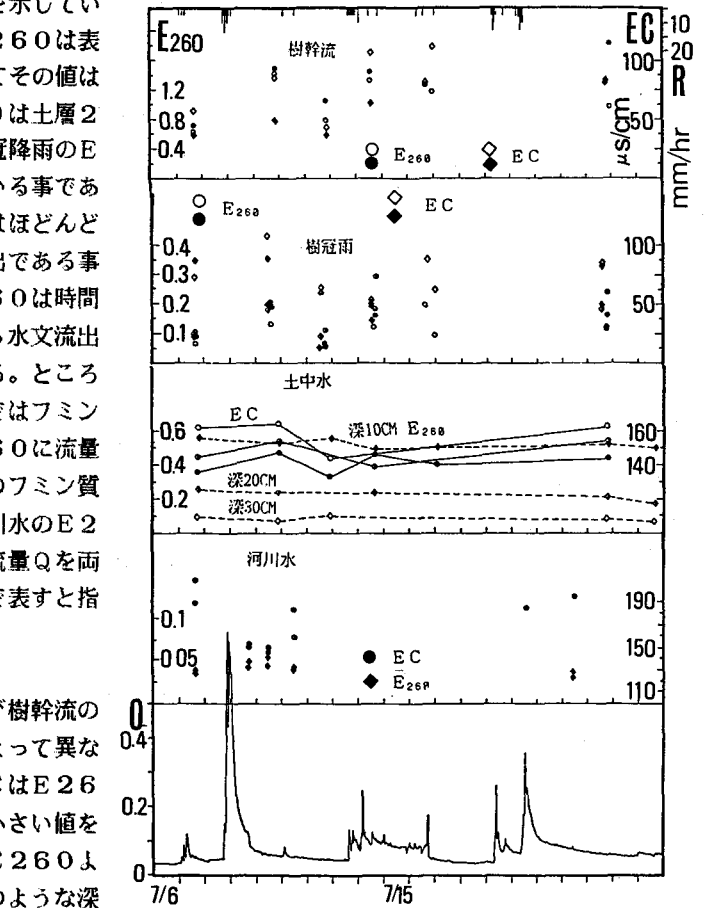


図-2流出ハイトグラフと林内雨、土中水のEC・E260

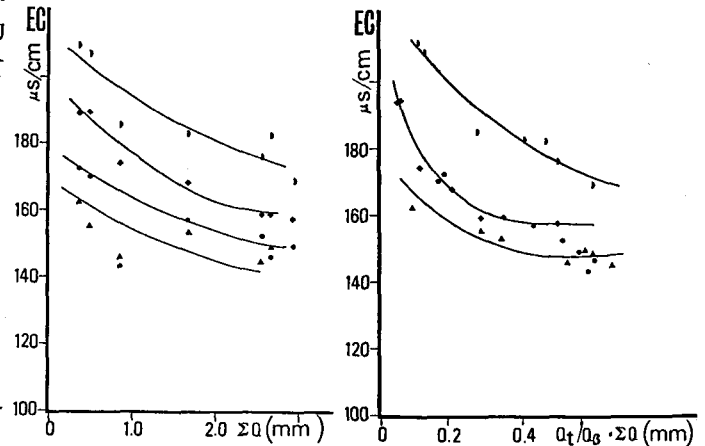


図-4川水のEC(a)累加流量との関係 (b)累加流量・流量との関係

のである。累加流量が大きくなるにつれてECは小さくなる傾向を示すがそのばらつきは比較的大きい。横軸にさらに採水時の流量と降雨前の基底流量との比をファクターとして掛けると図-4(b)で示すようにECとの相関は高くなった。これによりECは流量と先行流出量の両者に影響されている事が分かる。

(2) 降雨中連続測定の結果

図-5は総雨量102mmの一雨において樹冠降雨・樹幹流・土中水・河川水のE260及びECとハイドログラフを示している。

(a) E260について：樹冠降雨と樹幹流は降雨強度が大きくなるほどE260が小さくなり、小降雨時と比較すると樹幹流はあまり変化がないが樹冠降雨はかなり小さくなった。土中水では表層10cmまでのE260は流量の変動とともに小幅な変動も見られるが深層へ行くにつれて全降雨中を通じて安定な値を示している。また、層毎に得られた値を小降雨時と比較してもほぼ同じ値になっていることが分かる。この事は土中水のE260の安定性を証明している。河川水のE260は小降雨時と比べると2倍以上の値を取っており、流量と共に変動する。

小降雨時と同様に横軸に流量、縦軸にE260と流量の積を両対数で表現すると図-6のようなになる。減水初期においては(1)式の β は小降雨時と同じく、ほぼ2.0である。減水後期には β の値は約1.0になり、減水後期にはE260は小さい値でほぼ一定値を取るようになった。このとき流出は小さいE260の値を取る深層からの遅い中間流で占められていることが考えられる。

(b) ECについて：樹幹流と樹冠降雨はE260と同様に希釈効果が見られる。土中水のECの値は各深さ毎に変動が大きく、しかも小降雨時の同じ深さで得られたECの値と比べて同じ深さで大降雨時には小さい値を取っている。この河川水のECも上記の土中水のECと同様の傾向を示している。図-7は縦軸に河川水のEC、横軸に累加流量に流量と基底流量との比を掛けたものであり、まだばらつきが大きい

4. 流出成分分離

(1) E260による結果：上述のように土中水のE260は土層の深さ毎に異なった値を取り時間的に安定であり、かつ降雨強度によって大きく変動しないという特性を示していた。河道流出は土層表面から20cmまでの層と20cm-30cmの層

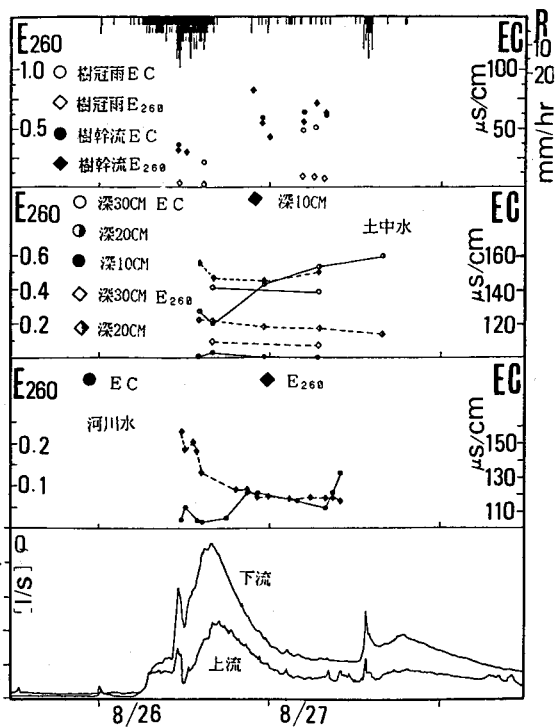


図-5降雨中連続測定のEC・E260

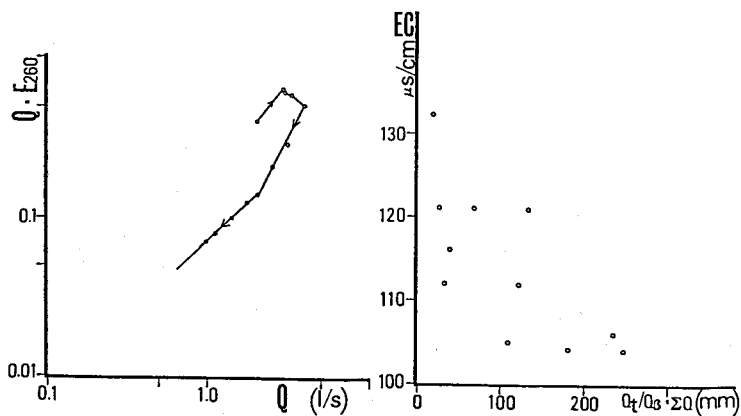


図-6降雨中の流量と水質量

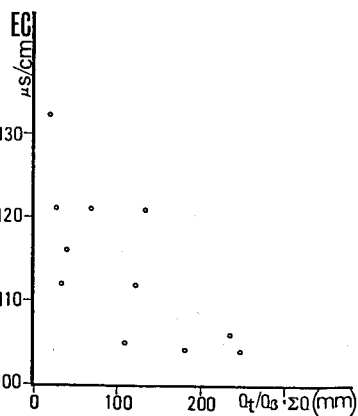


図-7降雨中のECと累加流量・流量

からの流出によって構成されていると仮定し流出成分分離を試みた。流量及び質量の保存則から(2)式と(3)式が成立する。ここにQ:流量、T:E260

$$Q_1 + Q_2 = Q \quad (2)$$

$$Q_1 \cdot T_1 + Q_2 \cdot T_2 = Q \cdot T \quad (3)$$

またはECであり、添字1、2はそれぞれ土壌表層、深層を表す。Q、T、T₁、T₂は既知であるので未知数はQ₁とQ₂の2つになる。102mm降雨のデータを使って計算した結果は図-8に示されている。降雨ピーク時の付近では降雨強度の増大と共に表層流出量も増大し、かつ敏感に反応しているが、全体として深層からの流出は河道流出の大部分を占めていることが分かる。また図-9に示す対数表示の減水曲線と比較して二次減水の始まる時点は成分分離の表層流出が無くなる時間とほぼ一致することが分かる。

(2) ECによる結果:大降雨と小降雨の連続測定より得られた土中水のECを参考にして上記のE260と同様に流出の成分分離を試みた。図-10にその結果を示す。絶対的な量は土中水の各深さ毎に設定した値によって多少変化するが全体の形状は変化していないと言えよう。ここで表層流出成分に関してE260の分離結果と比較すると降雨ピーク時の応答挙動が異なっており、また減水後期の挙動及び反応も異なっていることが分かる。

5. まとめ

本研究においては水質の面から山地小流域の流出に關する樹冠降雨・樹幹流・土中水等とトレーサとの關係に關して基本的な検討を行い、また流域の流出特性との相関性を解析している。樹幹流は木の種類により、林内雨(樹冠降雨)は場所によりトレーサの濃度が変化する。一方深さ毎に採水した土中水は100mm

以上の降雨中ではほぼ安定なE260の値を示しており、E260の水文トレーサとしての有用性を確認することが出来た。次にこの事実を基にして河道流出の成分分離を試みた。その結果、河道流出の大部分は土層20cm以下の中間流によって占められており、大降雨時にはこれに土層表面から20cm以内の流出成分が上乘せされていることが分かった。分離結果は対数減水曲線で示す流出成分の相違と良い対応を示している。一方ECは先行流出量あるいは先行降雨量と流量とにより強く影響を受けていることが示されている。この点に付いて今後はデータを蓄積して定量化に努めたい。

謝辞:本研究の遂行においてE260の水文トレーサとしての有用性を御指摘頂いた北海道大学衛生工学科丹保憲仁教授、また同農学部農芸化学科佐久間敏雄教授には本流域の現地踏査をし、土壤特性について指導して頂いた。ここに記して両教授に感謝の意を捧げる。本研究は文部省科学研究費(代表山田正)の補助のもとに行われたものであり、ここに謝意を表す。

参考文献:1) 竹内邦良・坂本康・本郷善彦: NO₃⁻を用いた流出成分分離と他の方法による分離結果の比較、28回水理講演会論文集、(1984)。 2) 丹保憲仁・亀井翼:マトリックスによる都市水代謝の水質評価(II)、水道協会雑誌502号(1976)

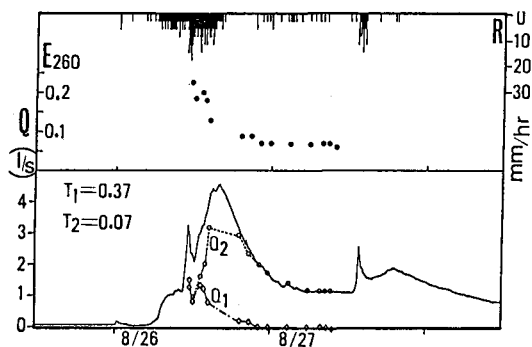


図-8 E260による成分分離

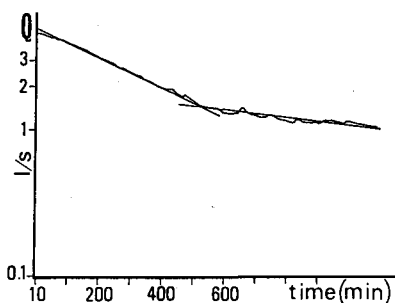


図-9 流出減水部の対数表示

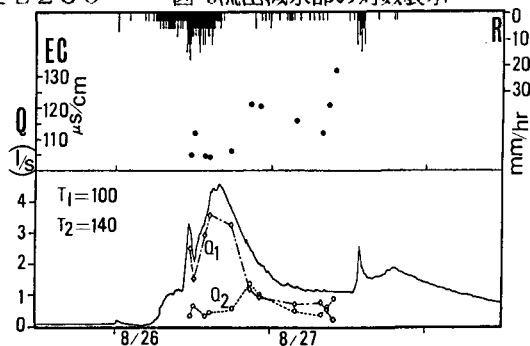


図-10 ECによる成分分離