

II-35 紫外部E₂₆₀と電導率E.Cからみた流出解析

北海道大学工学部 正員 亀井 翼
 北海道大学工学部 正員 丹保憲仁
 北海道大学工学部 学生員 洪 廷芳
 北海道大学工学部 正員 山田 正

1. はじめに

流出ハイドログラフを設定するに際して、ただ単に降雨と河川流出パターン合せを行うのではなく、流出現象の内容を明確に把握・理解することができるよう、河川水の特成成分濃度変化を検討し、降雨に対する流域の流出応答性を評価する試みが近年なされている。1)

流出応答特性を評価するための自然由来の水質指標として、(1)各指標が表層、中間層、基底等の各層を特徴づけるような固有の成分であり、(2)降雨強度の強弱等によりその特性に大きな変動を受けない、かつ(3)流出過程において生分解反応等による変化を受けない安定成分であることが必要である。

従来から検討されている諸水質指標は上述の諸条件を必ずしも十分に満足せず、従って、流出応答特性の把握も十分には成し得なかった。本論は、山地流域に存在するフミン質を迅速簡単に計測する指標としての紫外部260nmの吸光度(E₂₆₀)、及びその内容を成分分子量の大小によって検知する高速液体クロマトグラフ(HPLC)を用いた分子量分布(分子量分布クロマトグラム)を主たる水質指標とした検討方法が流出機構解明の上で極めて有用であることを提案し、従来しばしば用いられてきた無機イオン成分の総括指標である電気伝導度(E.C)による方法と対比して、その有用性と明確さを示そうとするものである。

2. 山地河川における降雨流出経路の概念

森林で覆われた一般的な山地における降雨流出は、図1に示すように(1)林内雨(樹冠流)または樹幹流として地表面に到達し、地表面浸透性が小なる場合は地表面流出成分となり、地表面付近の浸透性が大な場合は、A層以深に流出し、各層における浸透性の大小に応じて、それぞれ鉛直流成分、側方流成分になると考えられる。本論では、様々な降雨量における林内雨、樹幹流、表層流、中間流、河道水のE₂₆₀、E.C及び分子量分布クロマトグラムと対応するハイドログラフの応答の検討を行い、その結果を基礎として流出成分分離を試みる。

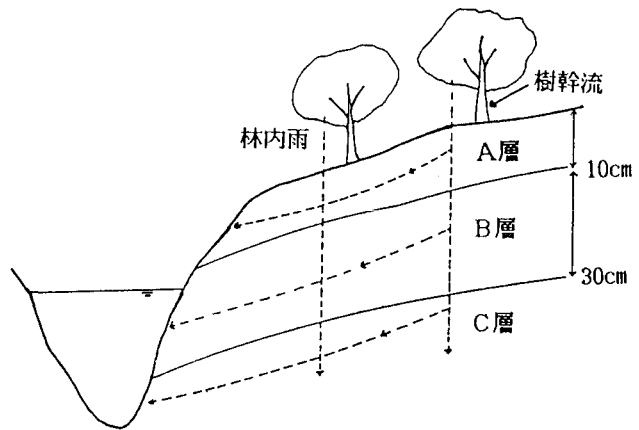


図-1 山地河川における降雨流出経路

3. 対象流域とその概要

3-1. 宮の森試験地

試験地の1つである宮の森試験地は図に示すように、札幌市の西北部に位置するミズナラ、イタヤカエデ等の広葉混合

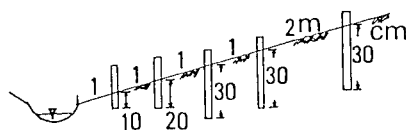


図-2 採水位置と深さ

林の源流域である。土壤層は地表から2~5cmのA₀層、10cm程度のA₁層及び30cm程度のB層からなり、45cm以下は岩石と粘土からなる難透水層のC層から成り立っている。河道左右岸は40°~50°の急勾配斜面が5~10mほど続き、それ以遠は30°以下の比較的緩勾配斜面が続いている。

3-2. 簾舞試験地

簾舞試験地は札幌市南部の豊平川支流の簾舞川流域の右岸の標高562mの緩やかな斜面に位置している。植生はミズナラ、イタヤカエデ等の広葉樹林に若干の針葉樹が加わったものである。土壤層は宮の森試験地と同様に10cm程度の腐植層がある。

4. 計測及び試水採水方法

4-1. 降雨量、流量計測及び土中水採水

林外降雨は転倒マス雨量計により採水した。林内雨については、樹冠通過雨量を4ヵ所、樹幹流は2ヵ所で採水した。土中水の採水は、図-2に示すように流域斜面の地表面より深さ10, 20, 30cmの位置で、減圧方式による土中水採水装置を流域内の上流及び下流の10ヵ所に設置することにより行った。簾舞試験地では、さらに地表面より5cmの深さに採水装置を設置し、A₀層の土中水も採水した。河道流出は三角ぜき2台を流域合流部とその約100m下流に設置し、差圧式水圧計により測定を行った。

4-2. E₂₆₀（紫外外部260nmの吸光度）、E.C（電気伝導度）及びM.W.D（分子量分布）の測定

E₂₆₀の測定は日立分光光度計を用い、0.45μmのメンブレンフィルター通過水について、1cm石英セル中の蒸留水を対照として行った。E.Cは東亜電波伝導度計を用い、25℃換算値で表現した。E₂₆₀で表現したフミン質の見かけの分子量は試料水を0.45μmのメンブレンフィルターでろ過後、以下のような諸条件で求めた。

高速液体クロマトグラフ：日立高速液体クロマトグラフ655型（データー処理装置、紫外外部自動記録、ミニフラクションコレクター付）、カラム：日立ゲルバックW520 30cm×2mm、押し出し液：0.02Mリン酸緩衝液（0.02MNa₂HPO₄+0.02MK₂PO₄）、押し出し流量：0.07mL/min、フラクションのTOC測定：無機炭素除去後、島津有機炭素計により測定。

5. 結果と考察

5-1. 樹冠流（林内雨）、樹幹流、土中水、河道水のE₂₆₀、E.C流出プロファイル

降雨量が小さい場合と多い場合の代表例について、宮の森試験地における樹林内雨、樹幹流、土中水、河道水のE₂₆₀、E.C流出プロファイルを示すと図-3と図-4のようである。両図を対比し、各流出の各経過点における流出特徴を列記すると次のようである。

(1) 樹幹流と林内雨（樹冠流）

樹幹流は樹種、林内雨は採取場所により、E₂₆₀及びE.Cの値は大きく変化している。また、樹幹流、林内雨とも降雨強度が大きくなるほど希釈効果によりE₂₆₀値が小さくなる傾向を示しているが、いずれの場合も河道水のE₂₆₀、E.Cとの関連は認められない。

(2) 土中水

地表面からの深さ別に採水した土中水のE₂₆₀値は降雨強度の大小に関係なくほぼ一定の値を示している。さらにE₂₆₀値は表層ほど高い値を示し、深くなるにつれてその値は小さくなっている。一方、E.C値はE₂₆₀値とは反対に表層ほど小さい値を示す傾向があるが、各層におけるE.C値の変動幅は大きい。また、同一深さにおいても、大降雨時におけるE.C値は小降雨時よりも小さい値を示している。

(3) 河道水

図-3、4に示されるような土中水のE₂₆₀を地表面からの深さに対して片対数プロットして見ると図-5のようである。深さ10~30cmにおけるE₂₆₀の減少値向をそのまま外挿できるわけでもないが、小降雨時

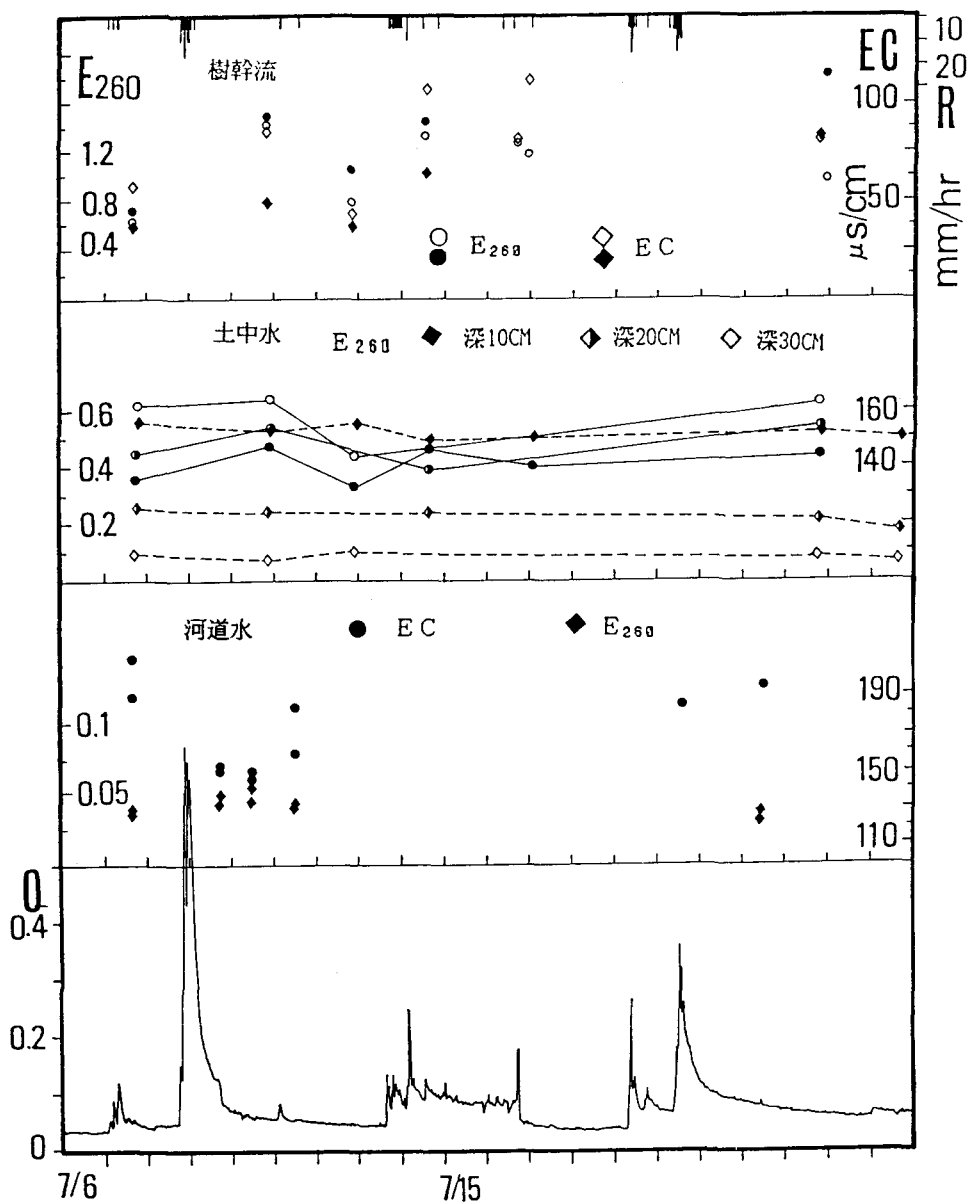


図-3 ハイドログラフとE.C., E₂₆₀ (小降雨)

の河道水のE₂₆₀が0.04程度であることを考慮すると、小降雨時の流出の大部分は35cm程度以下からの流出であることが明らかである。また晴天が長期間継続する場合の河道水のE₂₆₀が0.02程度であるので、基底流はさらに深い層からの流出によるものになると考えて良いであろう。

降雨強度が大なる場合には図-4に示されるようにE₂₆₀値は最大値で小降雨時の5倍程度の値を示し、以後降雨強度が小さくなるにつれてE₂₆₀値も低下する。

図-4において河道水のE₂₆₀値が最大値を示す時及び地表面から10cm, 30cmにおける分子量分布は図-6のようである。地表面から5cmにおける分子量分布を示した図-7と図-6を対比することにより、降雨強度がピークを示す時点においても河道水のE₂₆₀発現成分の由来は地表面より10 cm以深からの流出が主たる

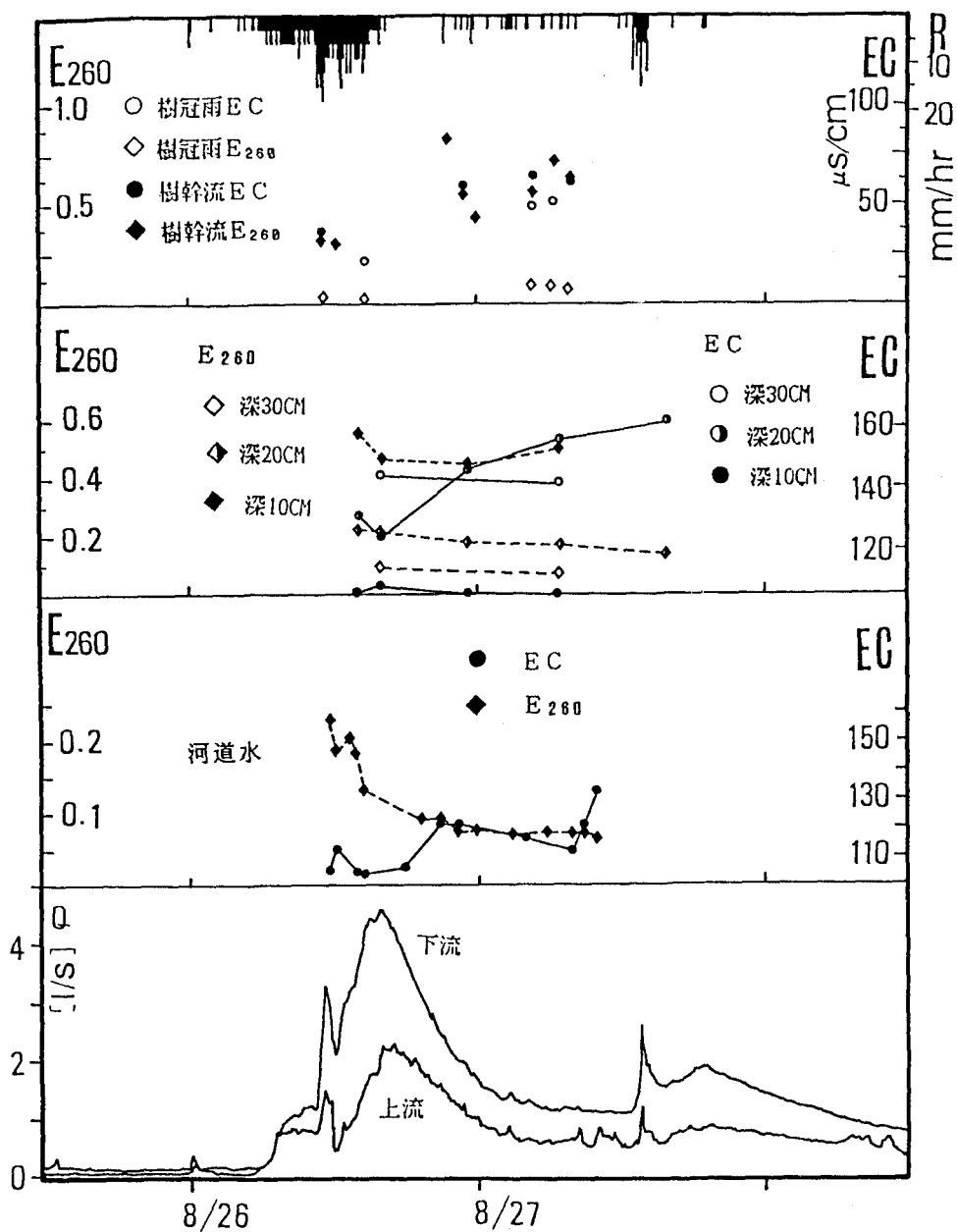


図-4 ハイドログラフとE.C., E₂₆₀ (大降雨)

ものであることが明らかである。

このような傾向は宮の森試験地のみならず他の比較的流量の大なる河川でも同様である。その1例を大降雨時の河道水(豊平川水系白井川)についてのみ示すと図-8のようであり、大降雨時であるにもかかわらず、表層5cm程度からの流出を示す高分子成分の存在が僅かに発現するのみである。

5-2. 流出成分分離

(1) E₂₆₀値による流出成分分離

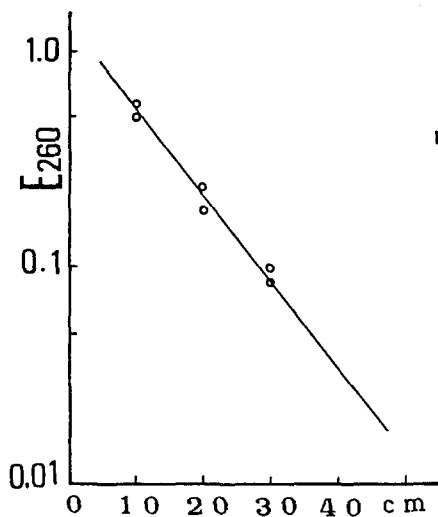


図-5 土中水の E_{260}

図-5に示したように土中水の E_{260} は各層に特有の値を示し、かつ時間的にも降雨強度の変化によっても、ほぼ安定な値を示している。また河道水、土中水の分子量分布の比較により、大降雨時においても、地表面から5cm程度までの表層流出は河道水の主たる流出成分ではないことが明らかである。そこで、河道流出は10~20cmにおける表層と20~45cm (45cm程度以深は難透水層)における中間層からの流出によって主として構成されると考えて流出成分分離を試みた。表層の代表 E_{260} 値としては図-5より10cmと20cmの間点 (15cm) における0.37、中間層の代表 E_{260} は20cmと45cmの間点における値0.07を用いた。流量及び質量の保存則から式(1)、(2)が成立する。

$$Q_1 + Q_2 = Q \quad \dots (1)$$

$$Q_1 \cdot T_1 + Q_2 \cdot T_2 = Q \cdot T \quad \dots (2)$$

ここで、 Q_1 : 流量、 T : E_{260} または $E.C$ であり、添字1,2はそれぞれ土壌表層、中間層を示す。 Q 、 T 、 T_1 、 T_2 は既知であるので、未知数は Q_1 、 Q_2 の2つになる。図-4に示した結果は図-11のようである。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

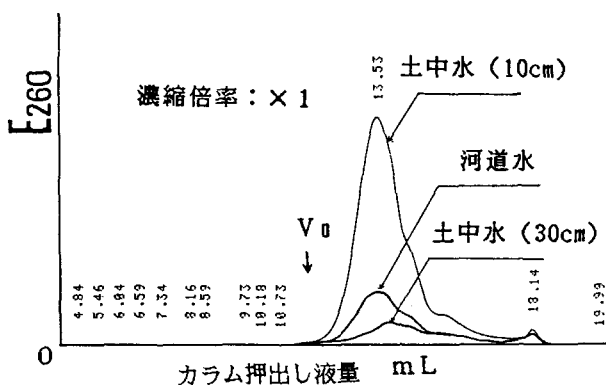


図-6 河道水と土中水の分子量分布

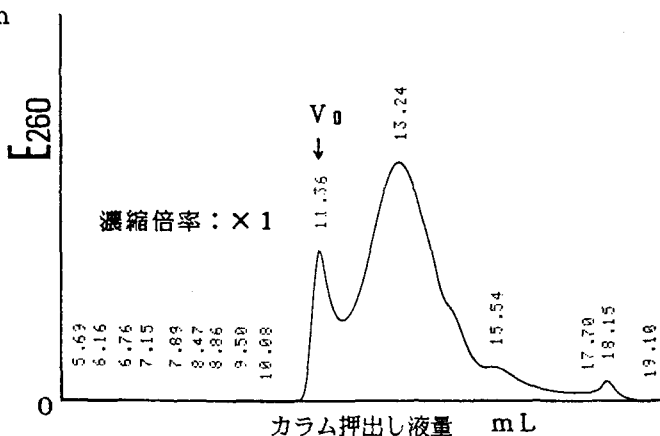


図-7 土中水 (5cm) の分子量分布

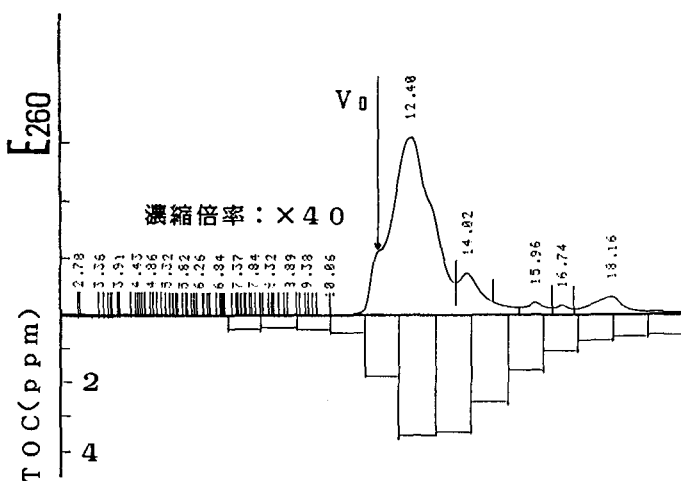


図-8 河道水 (白井川) の分子量分布

、かつ敏感に反応しているが、全体として中間層からの流出が河道流出の大部分を占めていることになる。また図-10に示す対数表示の減水曲線と比較して2次減水の始まる時点は成分分離から推定された表層流出が無くなる時間とほぼ一致している。

(2) E.Cによる流出成分分離

大降雨と小降雨の連続測定より得られた土中水のE.Cを参考にしてE₂₆₀の場合と同様に流出の成分分離を試みた結果は図-11のようである。表層流出成分に関してE₂₆₀による分離結果と比較すると降雨ピーク及び減水後期の応答挙動が大きく異なっている。

6. まとめ

異なる降雨強度における山地小流域の林内雨、樹幹流、土中水のE₂₆₀、E.C及び分子量分布の応答と流域の流出特性を検討し、(1) 樹幹流は樹種により、林内雨は場所によりE₂₆₀、E.Cとも変化し、かつ降雨強度によっても大きく変化するが、(2)異なる深さから採水した土中水は100mm以上の降雨中でもほぼ安定なE₂₆₀値を示し、E₂₆₀が水文トレーサとして有用であることを確認できた。さらに、(3)E₂₆₀の分子量分布を河道水と各土中水を用いて比較することにより大降雨中(102mm)でも地表から5cm程度の表層流出をほとんど無視し得ることを確認できた。以上のような現象観察を基礎として河道流出の成分分離を試みた結果、(4)河道流出の大部分は20cm以下の中間流によって占められ、大降雨時には、これに土層の10~20cm深さの区間の流出成分が上乘せされていることが明かとなった。

謝辞：本研究の遂行に際し、簾舞試験地及び豊平川水系における試料提供を賜った北海道大学演習林藤原渥一郎教授及び宮の

森試験地の観測に多大の御協力を願った北海道大学工学部長谷川和義助手に深謝します。

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)

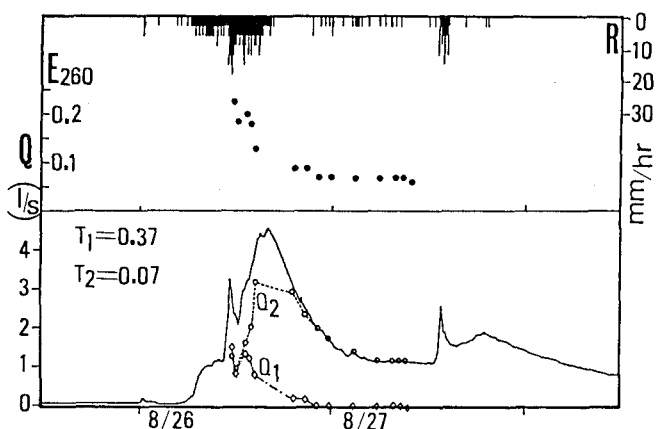


図-9 E₂₆₀による成分分離

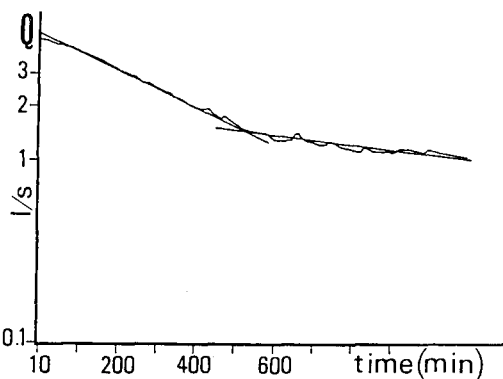


図-10 流出減水部の対数表示

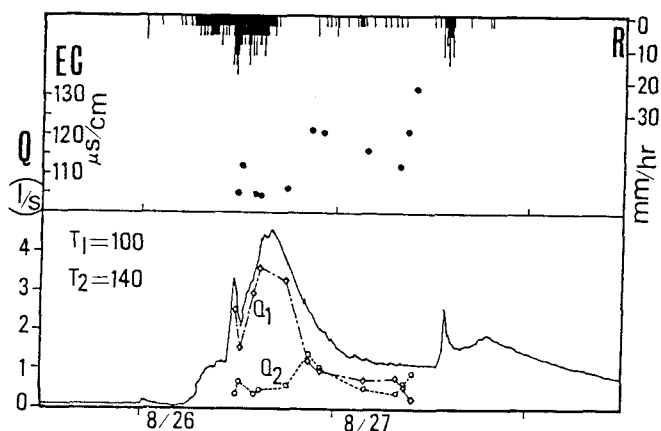


図-11 E.Cによる成分分離