

秋田高専 正員 佐藤 悟
秋田高専 正員 羽田守夫

1. はじめに

降雨は地表面に達した後、表面流出、中間流出、および地下水流出の各成分として流域内を流れ、これらがま
とまって流出するものと考えられている。これら各成分の分離方法としては、古くはハイドログラフから経験的
に推定するものや、各成分濃度の違いを利用した水質面から行なうものなど、種々のものが報告されている。こ
こで扱う数値フィルターもそれらのうちの一手法で、流量時系列を降雨に対し応答の早い高周波系列（表面流出
成分）と、逆に比較的応答の遅い低周波系列（地下水流出成分）に分離するある特性をもった数理的なフィルタ
ーである。我々は秋田県を流れる一級河川雄物川につき、この数年来連続採水調査を行ってきた。本河川にお
ける流出特性を把握するため、ここではこの数値フィルターの手法を用い、流域内での各水質成分の溶出則等
に関する簡単な考察を加えた。

2. 数値フィルター

数値フィルターには種々のものが考えられるが、ここでは後方作用の数値フィルターを用いた。一般に水文現
象は高階常微分方程式で表わされるが、短期流出成分は簡単な二階常微分方程式で表現される。このような系の
単位インパルス応答関数 $h(t)$ は、 $t > 0$ の場合次式で表わされる。

$$h(t) = \exp(-C_0 t/2) \cdot \sin(\sqrt{C_0 - C_0^2/4} \cdot t) / \sqrt{C_0 - C_0^2/4} \quad (C_0 - C_0^2/4 \geq 0)$$

$$h(t) = \exp(-C_0 t/2) \cdot \sinh(\sqrt{C_0^2/4 - C_0} \cdot t) / \sqrt{C_0^2/4 - C_0} \quad (C_0 - C_0^2/4 < 0)$$

ここで分離周波数と減衰係数とを仮定し、入波後の出力 $y(t)$ を次式で得る。なおこの際、フィルターには表面流
出成分が負とならないよう、次に示す重み α を乗じた。

$$y_i(t) = \sum_{k=0}^N \alpha_k h(t-k) \cdot y_i(t-k) \quad \text{Min} \{y_i(t) - \alpha \sum_{k=0}^N \alpha_k h(t-k) \cdot y_i(t-k)\} \geq 0$$

3. 解析結果および考察

今回対象とした水質時系列は、秋田県雄物川における昭和50年から56
年までの連続水質調査結果の内から、主に7月中旬より一ヵ月にわたり
行なった夏期のものである。成分分離日数を決定するための流量の自己
相関係数を図-1に、また自己回帰式で表現した場合のAR係数を表-1に
示した。なおここには54年の流量値に対する解析結果を示したが、他の
年度でもさほど大きな差異は認められなかった。これらより分離日数は
7日、また減衰係数は3.0と仮定し、数値フィルターを構成した。図-2
は、以上の条件により実際に流量時系列を分離した結果である。流量ピ
ーク時には表面流出成分が、また減水時には逆に地下水流出成分がそれ
ぞれ卓越する様子が認められる他、地下水流出成分の変動が緩慢である
こともわかる。一般に地下水流出成分濃度は、流量の変動に対しさ
ほど大きな変化はしないものと考えられる。これは、その量的な面
での変動が比較的緩慢であることや、その流出にいたるまでの経路
等がさほど変化しないためと思われる。一方表面流出成分濃度につ
いてみた場合、その流出までの経路、溶出則等が地下水流出成分に
くらべて複雑であることが想像される。この点につき検討を加えるた
め、次に示す水質収支式を与える。

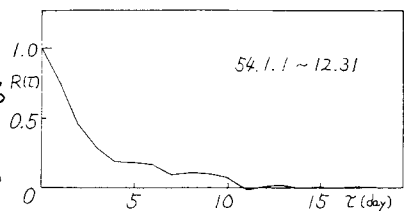


図-1 流量時系列の自己相関係数

表-1 流量時系列の自己回帰係数 [Yule-Walker 法]

次数	AR 係数	次数	AR 係数
1	-0.953	7	-0.119
2	0.365	8	-0.071
3	-0.208	9	0.050
4	0.187	10	-0.003
5	-0.201	11	0.120
6	0.161	12	-0.089

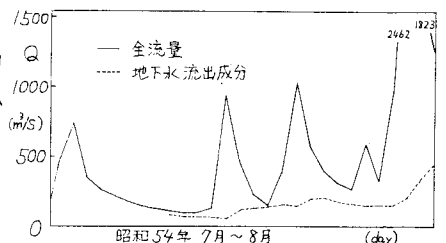


図-2 流出成分分離結果

$C_s \cdot Q_s + C_g \cdot Q_g = C \cdot Q$
 $Q_s + Q_g = Q$
 この二式を変形し、次式を得る。
 $C = (C_s - C_g) \cdot Q_s / Q + C_g$

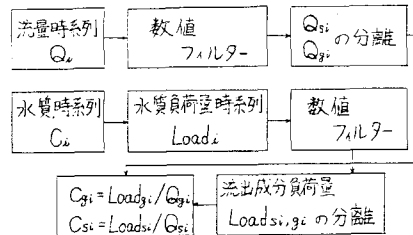


図-3 流出成分濃度推定の概要

いまここで C_g を一定、また C_s が流量構成比率 Q_s/Q の関数であると仮定する。この様子を示すために、数値フィルターを直接水質時系列に適用し、 C_s と C_g を推定することを試みた。ただし、そのままでは次元が異なるなどの点から、いったん水質負荷量時系列に変換する操作を加えた。具体的な作業の概要を図-3に示した。図-4は以上の方法で推定された C_g を二つの例について Q_g に対しプロットしたものであるが、その分散値からみても十分に一定となる様子が認められた。また C_s と Q_s/Q とをプロットした例を図-5, 6に示したが C_s がなんらかの関数形であらわされる様子がうかがえる。

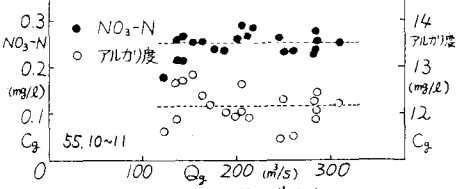


図-4 地下水流出成分濃度変化

そこでここでは $C_s = A(Q_s/Q)^n$ $0 \leq Q_s/Q < 1$ と仮定し、最終的な水質収支式を次式とした。

$$C = A(Q_s/Q)^{1+n} - C_g(Q_s/Q) + C_g$$

この式により表現される水質変化のパターンは、それぞれの条件により種々変化する。その概念を図-7に示した。水質濃度と Q_s/Q とをプロットした場合、 $m=0$ の時大きくわけ次の三つの直線のパターンが考えられる。一つは $C_s > C_g$ となるもので右よりのパターンを、一つは $C_s = C_g$ となるもので濃度変化をみないもの、一つは $C_s < C_g$ となるもので右下りのパターンを示す。また $m > 0$ の時には下に凸の、 $-1 < m < 0$ では逆に上に凸の曲線形を示す。 $m \leq -1$ は表面流出成分がない時に C が無限大となるもので、このような流出は実際にあり得ないものと思われる。得られた水質濃度をこの流量構成比率に対しプロットしたものが図-8, 9である。表面流出に関与の深い項目は右よりの、かつ $m > 0$ の様子が、また地下水流出に関与の深いと思われる項目では右下りの様子が認められた。この場合の m 値の正負については若干ばらつきが大きく判断がむずかしいが、一般に $-1 < m < 0$ の例が多いようである。以上この方法はあくまで曲線等の形状から C_s, C_g の大小、ならびに m 値の正負を判断するものであるが、いずれ他の手法を用い、具体的な値として算出する必要があるものと思われる。なお現在

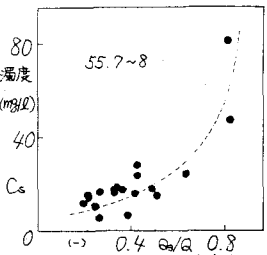


図-5 表面流出成分濃度変化

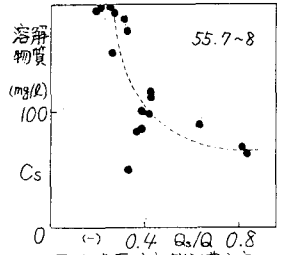


図-6 表面流出成分濃度変化

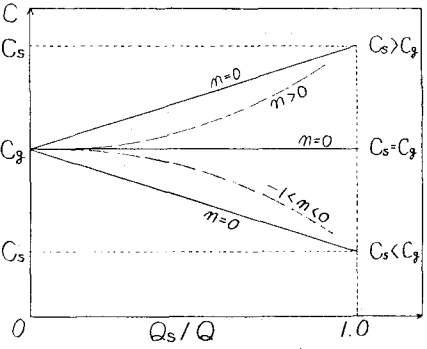


図-7 流量構成比率と水質濃度変化の概略

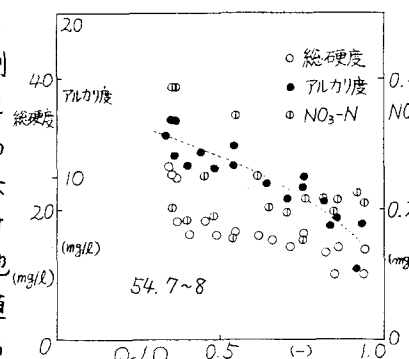


図-9 流量構成比率と水質濃度の関係

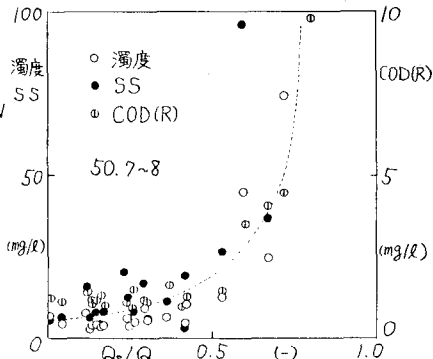


図-8 流量構成比率と水質濃度の関係

この点について検討中である。〈参考文献〉 1) 日野・長谷部：流量時系列のみによる流出解析について、土木学会論文報告集 第300号、1980
 2) 日野・長谷部：地球化学的手法と逆探法を用いた流出系の成分流出法則の推定について、土木学会論文報告集 第314号、1982