

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）に分離できるある特性をもった数理的なフィルターである。我々は秋田県雄物川の流出特性を把握するために、この数年来連続採水調査を行ってきたが、ここでは数値フィルターの河川水質問題への適応性を検討した。即ち、数値フィルターを流量時系列のみではなく各水質時系列にも適用し、直接各成分濃度の推定を試みる他、流域内での各水質成分の溶出則に対する簡単な考察を加え、本河川の流出特性の検討の基礎とした。

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。

$$h(t) = \exp(-C_1 t/2) \cdot \sin(\sqrt{C_0 - C_1^2/4} \cdot t) / \sqrt{C_0 - C_1^2/4} \quad (C_0 - C_1^2/4 \geq 0)$$

$$h(t) = \exp(-C_1 t/2) \cdot \sinh(\sqrt{C_1^2/4 - C_0} \cdot t) / \sqrt{C_1^2/4 - C_0} \quad (C_0 - C_1^2/4 < 0)$$

ここで分離周波数と減衰係数とを仮定し、汜波後の出力 $y_1(t)$ 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。

$$y_1(t) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k \Delta t) \cdot y(t-k) \quad , \quad \text{Min} \{ y(t) - \alpha \cdot \sum_{k=0}^{\infty} h(k \Delta t) \cdot y(t-k) \} \geq 0$$

3. 解析結果および考察

今回対象とした水質データは、秋田県雄物川における昭和55年10月16日から11月14日にわたる一日一回の連続水質調査結果である。成分分離日数を決定するための流量時系列の自己相関係数も図-1に、また自己回帰式（ARモデル）で表現した場合の各係数値も表-1に示した。なお安定した結果を得るため、データ数も調査期間を含む184日間とするとともに、計算法をYule-Walker法により行なった。これらの結果より分離日数は7日、また減衰係数を3.0と仮定し、数値フィルターを構成した。図-2は

実際に流量時系列を分離した結果であるが、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、一般に地下水流出成分の変動が緩慢であることがわかる。この数値フィルターを水質時系列に適用する場合、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える操作を加えた後、同様な処理を行なった。具体的な作業の概要を図-3に示した。いま表面流出成分と水質濃度との関係を考える場合、図-4左に示した三つのパターンが考えられる。これらは表面流出が降雨のあった地域の地質的な、あるいは物理的な特性に大きな影響を受ける他、各水質毎に溶出則が異なるなど複雑な過程を経るためと思われる。一方地下水流出成分と水質濃度とでは、図-3右に示した流出

表-1 流量時系列の自己回帰係数 [Yule-Walker]

次数	AR係数	次数	AR係数
1	-0.649	6	0.027
2	0.144	7	0.020
3	-0.089	8	-0.119
4	-0.017	9	0.026
5	0.006	10	0.043

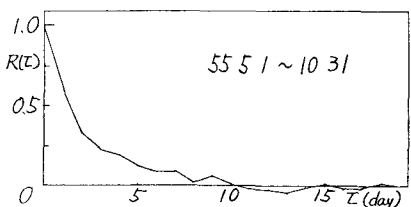


図-1 流量時系列の自己相関係数

パターンが予測される。これは地下水流出成分が表面流出成分にくらべ、その量的な変化が比較的緩慢であり、またその流出過程もさほど変化しないと考えられるためである。図-5~7は各流出成分毎に、先の手法で推定された成分濃度をプロットしたものである。表面流出成分についてみた場合、データ数の不足と若干のばらつきがみられるが、一般に流量が減少するにつれ濃度が上昇する傾向がみられる。SSなど一部の浮遊性物質は、上記の傾向に加え逆に低流量時に濃度が減少する様子も混在して認められたが、これは現在対象としている流域が極めて広大であるため、さまざまなパターンを示す流域を流下してきたものが最終的に合計されて観測されたためと、また特に浮遊性物質の場合、下流で観測される濃度がすべて表面流出系によって生じたものと考えられるには無理があったと思われる。一方地下水流出成分についてみた場合、図-7に示した二例については、水質データの分散値からみても十分に一定であると思われるが、他の一部の溶解性物質について満足な結果は得られなかった。水質項目により、数値フィルターによる分離が十分に行なわれるものと、そうでないものがあると思われる。

各成分濃度を推定する方法として、上記の他に水質の収支式を用いるものが考えられる。いま得られた各流出成分 Q , Q_s , Q_g から各成

$$\begin{aligned} C_s \cdot Q_s + C_g \cdot Q_g &= C \cdot Q \\ Q_s + Q_g &= Q \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_s, C_s: \text{表面流出成分, 濃度} \\ Q_g, C_g: \text{地下水流出成分, 濃度} \\ Q, C: \text{河川流量, 水質濃度} \end{array} \right.$$

分濃度を推定する場合、一つに連続する観測間で連立させるもの、一つに最小二乗法的に求めるものがあげられる。初めの方法では一日毎の各濃度変化が推定できるものの、実際今回扱った流量が日単位のものであったため分散が大きすぎ、満足の得る結果は得られなかった。表-2は最小二乗法で推定された各成分濃度である。表面流出成分濃度でマイナス値を示すものもみられるが、一般に浮遊性物質では表面流出成分濃度が、また逆に一部の溶解性物質では地下水流出成分濃度が卓越する様子が認められた。ところで、特に地下水流出成分濃度は、土中成分との接触時間、経路および水温等に大きく左右されるものと思われる。ここで時間と経路は年間を通じ大きな変化はないはずで、最終的には水温による河川水質変化が予測される。今後は、河川水質の季節変化をこの点にも求め、数値フィルターを利用する予定である。

表-2 最小二乗法により推定された各成分濃度

水質項目	SS	濁度	700nm	全COD	アルカリ度	総硬度	塩素素	BOD	NH ₄ -N	NO ₃ -N
表面流出成分濃度 C_s	66.7	42.6	12.9	5.16	9.9	24.1	21.2	2.67	0.138	0.239
地下水流出成分濃度 C_g	4.9	3.1	-1.1	0.76	13.1	22.3	12.4	1.63	0.069	0.258
相関係数	0.952	0.989	0.907	0.987	0.986	0.991	0.993	0.885	0.627	0.991

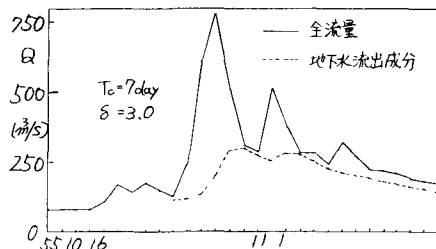


図-2 流出成分分離結果

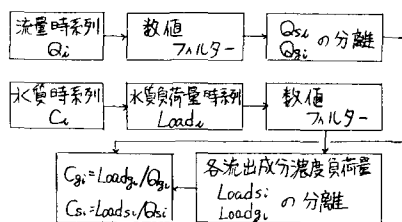


図-3 各流出成分濃度推定の概要

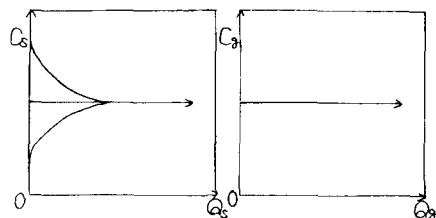


図-4 各流出成分と成分濃度の関係

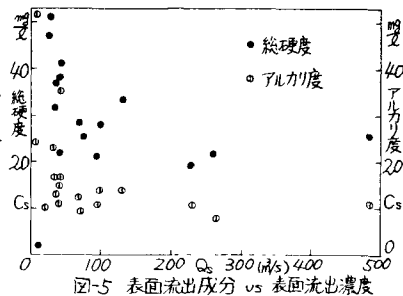


図-5 表面流出成分 vs 表面流出濃度

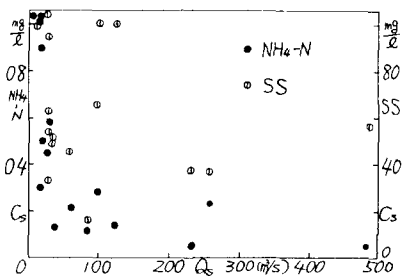


図-6 表面流出成分 vs 表面流出濃度

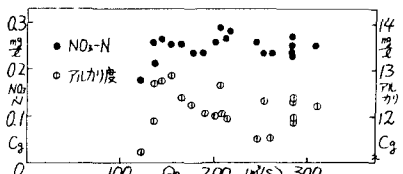


図-7 地下水流出成分 vs 地下水流出濃度