

II-495

河川における水質事故物質の分散について

北海道開発局帯広開発建設部 正員○玉 川 尊

北海道開発局開発土木研究所 正員 中津川 誠

北海道大学 工 学 部 正員 長谷川和義

1. まえがき

河川における水質事故への対応は河川管理上重要な課題である。そこで発生した水質事故の汚染物質が、流下過程でどのように分散するかを把握するため実河川を対象に調査・解析を行った。ここでは、不等流計算と拡散方程式によって水質成分の分散を推定する方法をとる。この際、分散係数が水質濃度を規定する重要な要因であるが、今回おこなった現地調査や、アメリカの河川での解析例をもとに、それが川幅・水深比のような河道水理諸元により決定できることを確認したので、その成果を報告する。

2. 調査の概要

調査対象とした3河川は、喜茂別川が急流の山地河川、島松川は平地河川、厚別川は前2例の中間として選定した。現地では縦横断測量の他に観測時に、同時水位観測と流量観測を実施した。また、これらと並行し、食塩水をトレーサーとして定点より投入し、下流の測点に電導度計を設置し、導電率を濃度換算して、分散の程度をとらえることとした。

3. 分散係数の推定

水質変化の推定には拡散方程式をもとにした瞬間投入に対して、投入点より x だけ離れた地点での濃度 C をあらわす次式を用いた。

$$C = \frac{M}{2A\sqrt{\pi Dt}} \exp \left\{ -\frac{(x-ut)^2}{4Dt} \right\} \quad (1)$$

ここで、 M は投入量(kg)、 A は流積(m^2)、 u は流速(m/s) D は分散係数(m^2/s)をあらわす。

これから、ある地点で溶解物質を瞬間投入した場合、その下流の地点で濃度時系列を測定して、分散係数を逆算することを考える。この場合、 $t=x/u$ がピーク時間であり、その時の水質濃度を C_p とすると、

$$C_p = \frac{M}{2A\sqrt{\pi Dt}} \quad (2)$$

これより分散係数は、次式となる。

$$D = \frac{1}{\pi t} \cdot \left(\frac{M}{2AC_p} \right)^2 = \frac{u}{\pi x} \cdot \left(\frac{M}{2AC_p} \right)^2 \quad (3)$$

河川の調査結果から分散係数を逆算し、それから計算による濃度変化を算出し、実測値と比較した。図-1に厚別川の例を示す。これを見ると、計算濃度は立上がり部でやや実測値より立上がり早い、濃度の降下時は再現性がよい。また、その他の河川も全体的傾向としては計算結果が実測値をよく再現している。

4. 分散係数と水理諸元との関係

Yotsukura らがアメリカの実河川で、色素を使い分散の調査を行っており、調査結果にもとづき、川幅水深比と分散係数との関係が整理されている。また、表-1には、著者らが調査した河川の水理諸元と分散係数を示す。式(3)より算出された分散係数は、流速と水深の積で除し(D/uh)、無次元化して川幅水深比(B/h)と比較する。これをプロットしたものが図-2である。図中にはアメリカの観測結果も示してある。この

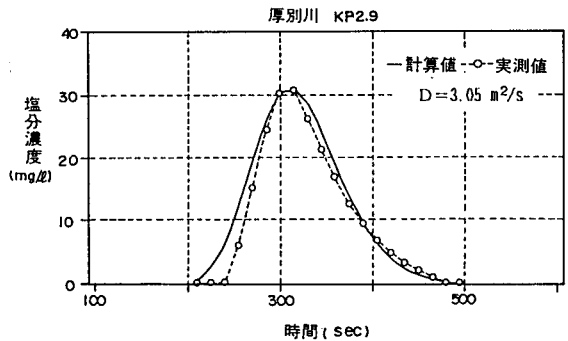


図-1 流下時間と濃度の関係

表-1 調査対象河川の水理条件と分散係数

河川名	調査年月	$h(m)$	$u(m/s)$	$B(m)$	B/h	$D(m^2/s)$	D/uh
喜茂別川	1990.9	0.210	0.515	10.59	50.4	14.11	130.6
	1990.10	0.245	0.658	12.36	50.4	15.48	96.0
厚別川	1989.9	0.280	0.955	8.94	30.0	3.05	11.41
	1989.9	0.290	1.048	8.94	28.6	3.74	12.34
	1989.9	0.289	0.780	8.94	35.2	5.26	23.30
島松川	1990.9	0.336	0.389	7.99	23.8	2.86	21.87
	1990.10	0.336	0.520	8.35	22.9	2.96	15.66

ここで、 h は平均水深、 u は平均流速、 B は平均川幅、 D は分散係数。

図の全データより回帰式を求めると、次式となる。

$$D/uh = 5.42 \times 10^{-3} (B/h)^{2.48} \quad (4)$$

これから、分散係数と川幅・水深比に対応関係が見出される。このことは、分散の程度が河川の横断方向と水深方向の乱れのバランスに規定されることを示唆するものである。以上により、河道諸元と水理条件から河川の規模によらず汎用的な分散係数の推定が可能となった。

5. 水質影響予測手法について

厚別川をモデルとして汚染物質の流下拡散のシミュレーションを行った。最初にその時の水理データを踏まえて、流量毎の流下時間を不等流計算で求めた。そこで、流量 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ を例として、平均水深、平均流速を算出し、 B/h および式 (4) より分散係数を推定した。この条件下でシアン 200 g が投入された場合をシアンの環境基準値 (0.1 mg/l) を下回る過程の水質濃度変化を計算したものを図-3に示す。これから、水質事故発生点の下流 1.35 km でピーク濃度は基準値を下回ることが分る。実際の事故では瞬間的なピーク濃度だけではなく、基準値を上回る時間帯での対応が必要である。それを求めるためには式 (1) から、任意の距離で基準値以上となる時間を求めればよい。図-4の実線で囲まれた部分が基準値を上回ることによって、処置を要する時間帯であり、この範囲で事故対応が必要なことを意味する。以上のように、水理条件と投入した物質量がわかれば、濃度変化が推定できる。また、それによって各流量規模毎に任意の物質量を投入した場合に、環境基準値を下回るまでの流下距離や事故への処置を要する時間帯が汎用的に推定できる。

6. あとがき

ここで得られた結果を整理すると次のようになる。①実河川の分散係数は、流速や水深、川幅などの水理量から推定可能で、このことはアメリカの河川の調査からも検証された。②事故物質の流下時間は、不等流計算により推定し、これと拡散方程式の解から水質濃度変化のシミュレーションが可能となった。③流域から予想される有害物質について、任意の投入量と水理量を設定し、水質濃度変化のシミュレーションにより、事故の影響範囲や処置に要する時間の汎用的な推定が可能となった。このような方法論を応用すれば、有害物質の影響予測が実用的に可能となり、下流での被害の未然防止や軽減処置に役立つものと考えられる。

[参考文献] 1) 玉川、秩父、中津川：河川における汚染物質の流下予測について、平成元年度土木学会北海道支部論文報告集, No. 46, 391-396, 1990. 2) Yotsukura, Fischer, Sayre: Measurement of Mixing Characteristics of the Missouri River between Sioux City, Iowa, and Plattsmouth, Nebraska, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1899-G, 29p, 1970. 3) Fukuoka, Sayre: Longitudinal Dispersion in Sinuous Channels, Journal of the HYDRAULICS DIVISION, Proc. of ASCE 1973, 195-217. 4) 玉川、中津川、長谷川：河川の水質事故質の流下拡散について、平成4年度土木学会北海道支部論文報告集, No. 49, 591-596, 1993.

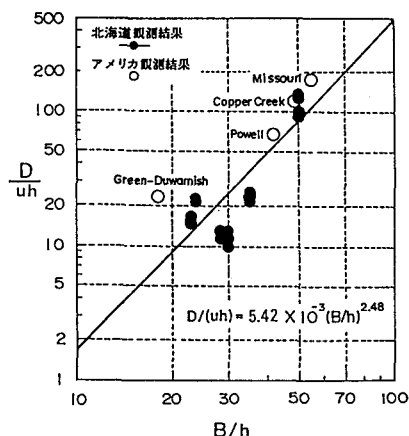


図-2 川幅水深比と分散係数の関係

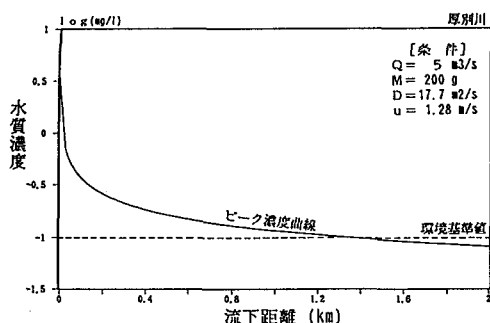


図-3 水質濃度変化のシミュレーション例

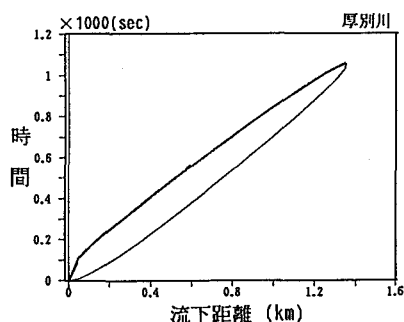


図-4 流下距離と処置時間の関係