

京都大学工学部 正 員 篠 央 郎

京都大学工学部 正 員 岩 佐 義 朗

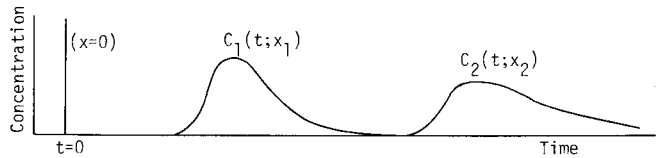
京都大学大学院 学生員 細 田 尚

1. はじめに; 河川や水路における物質輸送特性を把握するため、実験水路や河川におけるトレーサー測定によって、移流分散係数を算出することが行なわれている。本報は、こうして得られた観測資料より、移流分散係数を算出するにあたってのデータ処理上の問題点について、検討したものである。

2. 移流分散係数の測定法; 現在まで行なわれている移流分散係数の測定法は、多くの場合、瞬間面源としてトレーサーを投入し、下流側の数地点においてトレーサー濃度と時間の間係を測定することにより行なわれている。瞬間面源として投入された場合、移流分散方程式は、投入点近傍では適用できないことが指摘されており¹⁾ 移流分散係数の算出にあたってこの点は留意しなければならず、方程式が適用可能とされる Taylor 域以後における下流側数地点における濃度～時間曲線を計測し、つぎのような方法を適用することにより、移流分散係数の算出が可能となる。

i) ルーチン法; 移流分散方程式を瞬間面源のもとで解いた基本解を核として、たがひ込み積分を行なうことにより²⁾

$$C(t; x_2) = \frac{u}{2\sqrt{\pi D}} \int_0^t C_1(t-t'; x_1) \exp\left\{-\frac{(x_2-x_1-ut')^2}{4Dt'}\right\} \frac{1}{t'^{1/2}} dt' \quad (1)$$



あるいは、境界条件: $x=x_1$ において $C=C_1$, $x \rightarrow \infty$ で $\partial C / \partial x \rightarrow 0$ のもとに移流分散方程式を解くことにより³⁾

$$C(t; x_2) = \frac{x_2-x_1}{2\sqrt{\pi D}} \int_0^t C_1(t-t'; x_1) \exp\left\{-\frac{(x_2-x_1-ut')^2}{4Dt'}\right\} \frac{1}{t'^{3/2}} dt' \quad (2)$$

(1)あるいは(2)式より得られる $C(t; x_1)$ と観測された $C_2(t; x_2)$ を比較することにより、平均流速 u 、移流分散係数 D を求める。比較する際には、何をもちて適当とするか、その判定基準が与えられねばならない。以下の解析では、(2)式を用い、計算された波形と、観測波形の一次モーメントが同一となるように平均流速 u を定め、また、ピーク濃度が同一となるように試行錯誤的に分散係数を定めた。

ii) モーメント法; 観測された濃度～時間曲線より、時間に関する一次、二次モーメントを求めることにより、

$$\bar{t}(x) = \frac{1}{\int_0^\infty C(t; x) dt} \int_0^\infty C(t; x) t dt = \frac{1}{u} \left(x + \frac{2D}{u} \right) \quad (3), \quad \bar{t}^2(x) = \frac{1}{\int_0^\infty C(t; x) dt} \int_0^\infty C(t; x) (t-\bar{t})^2 dt = \frac{2D}{u^2} x + f(u, D, C) \quad (4)$$

(3), (4)式により、 $\bar{t} \sim x$, $\bar{t}^2 \sim x$ の関係は、直線となり、その勾配より、平均流速 u 、移流分散係数 D が求まる。二次モーメントの値は、腕の長さのべき $(t-\bar{t})^2$ と濃度の積より求めるものであるから、分散係数値は、腕の長い部分(トレーサークラウドの重心位置から離れた部分)の濃度の影響を強くうけることになる。実際上、この部分の濃度は、測定値自体の信頼性も低く、 $t \rightarrow \infty$ までの積分も行なえないから、適当な値で打ちきることになる。

iii) ピーク濃度とその生起時刻による方法³⁾; (2)式の導出過程において、鞍部点法による積分を行なうことにより、次式を得る。

$$t \rightarrow \infty \text{ で } \frac{C_p}{\int_0^\infty C(t; x) dt} = \frac{1}{2} \frac{u}{\sqrt{\pi D}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t_p}} \quad (t_p = \frac{x}{u}) \quad (5)$$

すなわち、(5)式より $\{C_p / \int_0^\infty C(t; x) dt\}^2 \sim t_p$ は直線関係にあり、その勾配を求めることにより、移流分

分散係数Dが求まる。計算法は簡単であり、測定値についても、0次モーメント（投入総量）、および発生時刻だけであるから、計測およびデータ処理による分散係数値の誤いは小さいものと思われる。

3. 算出法の問題点の検討；1)打ち切り値の影響について、モーメント法を用いる場合、前記の以下の理由により、何らかの値で打ち切ることになる。図2～図4は筆者らの実験値(表1)について、ピーク濃度に対する比率 γ %で打ち切ったときの一次モーメント、二次モーメントおよび得られる分散係数の相違について示したものである。一次モーメントは、打ち切り値の影響をほとんど受けないとみてよいが、二次モーメントについては、打ち切りなしの場合、線形関係からのばらつきが大きいものに対し、1～2%の打ち切りにより、ばらつきも少なく

また、その勾配もさほどかわらない。得られる分散係数値については、1～2%の打ち切りでは、さほどかわらないが、5%以上では、かなり小さくなる。(表-2)

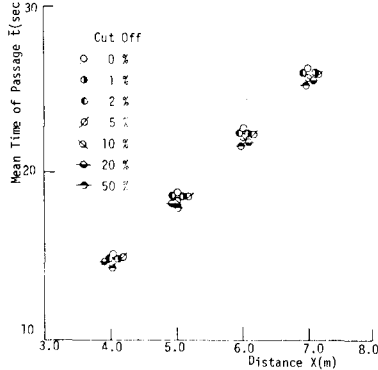


図-2

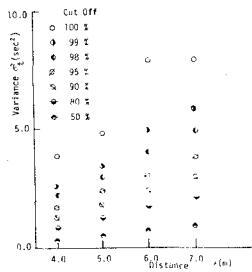


図-3

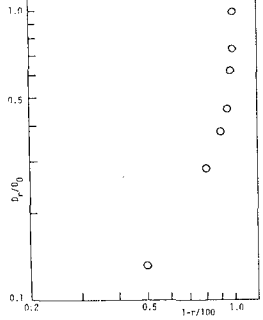


図-4

ii)断面平均濃度と測定値との関係、移流分散方程式中の濃度は、断面平均濃度であり、断面平均濃度の測定は、繁雑であるから、平均値で代表できるような点が取れば好都合である。図5～図9にFischerの行ったSeries 3400について、断面内の各測点において計測された C と、 $t \sim x$, $\sigma^2 \sim x$, $t_p \sim x$, $1/\sigma^2 \sim t$ の関係を示した。移流時間が長い場合、これらの図より得られる平均流速 u , $2D/u^2$, $u^2/4\pi D$, u_p については、ほとんどかわりはないと考えられるが、断面平均濃度の挙動そのものは、断面中央よりも、平均流速点近傍の測定値の方がよくあらわしているようである。

4. 結論；上述の三つの方法によって分散係数を求めた。(表-2) 得られた値は、算出法によってかなりばらつき、100%～20%程度の値の変化は避けられないようであり、無次元時間との関連で検討する必要があらう。

表-1

Discharge(cm ³ /s)	Width(cm)	Depth(cm)	Shear Velocity(cm/s)
562	10.0	2.05	1.69

表-2

Data No.	Author's	Fischer's Series				Cut off
		2400	2600	3100	3400	
Routing Method	45.0	430.	95.0	2500.	2000.	---
	157.	460.	114.	4110.	2490.	0 %
Change of Moment Method	117.	434.	97.1	4100.	2410.	1 %
	98.1	426.	91.4	3900.	2320.	2 %
	72.3	380.	79.5	3510.	1780.	5 %
Peak to Time Method	90.6	462.	106.	5600.	2570.	---
Dimensionless Mean Time	4.98-8.71	6.8-13.6	4.1-17.3	4.6-8.1	8.4-16.9	---

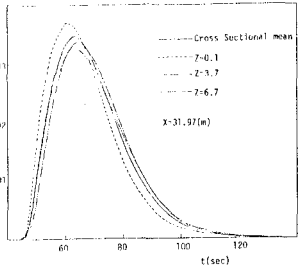


図-5

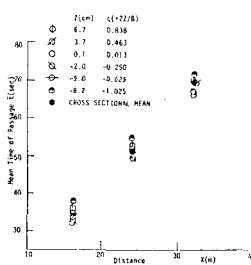


図-6

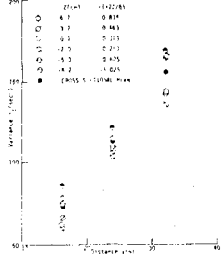


図-7

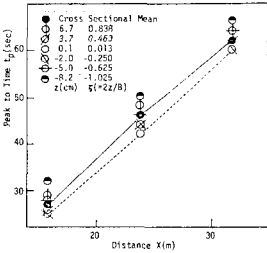


図-8

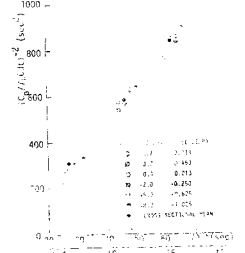


図-9

参考文献；1)Fischer, H.B. Report No. KH-R-12, C.I.T. 1966
2)福岡捷ニ土木学会論文集 Vol.200 1972年4月 3)岩佐 稔, 門下
大防延年報才21号-13 1974年4月 4)細田, 岩佐 稔, 才340年誌