

II-154 開水路流れにおける移流分散係数(その2)

京都大学工学部 正員 綾 史郎

京都大学工学部 正員 岩佐 義朗

1. はじめに: 河川をはじめとする開水路流れにおいて、流下方向に分散雲を分散せしめる要因としては、種々のものが考えられる。すなわち、流下方向の乱流拡散、局所平均流速の水深方向分布の非一様性、水路幅方向の分布の非一様性である。河川流においては、更に、側壁、底面に存在すると思われる局所的な凹凸に分散物質がトラップされることにより生じる死水域効果、浸透性路床上の流れにおいては、浸透流と表面流との間における質量交換と速度差により生じる効果、蛇行河川においては、蛇行の効果等が加わることになる。実験水路、あるいは、河川における分散係数測定のためのトレーサー実験・観測においては、これらの諸要因全てが合わさった結果としての分散雲の挙動を測定・観測しているものと考えられ、個々の要因に起因する分散効果を独立して測定するためには十分な注意が必要である。

本報では、まずはじめに、局所平均流速の断面内分布の非一様性により生じる分散効果について考察し、その特性を明らかにする。更に、種々の異なった条件下において行われた室内実験結果、及び河川流における観測結果を整理し、上述の効果がどの程度実現象を説明し得るのかについて検討した。

2. 理論的検討: 周知のように、移流分散現象の解析法としては、Lagrange的方法とEuler的な方法が可能であり、分散係数も、2種の方法により定義され、解析される。流下方向に一様な、広幅の直線開水路流れを対象とすると、分散係数は次のように求められる。

(1) Lagrange的方法 (IWASA and AYA ; 1985)

$$D_L = (\overline{v_x^2}) T_{sL} = (\overline{v_t^2}) T_t + (\overline{v_v^2}) T_v + (\overline{v_l^2}) T_l \quad (1), (2)$$

$$T_t = 0.72d/u_*, T_v = d^2/14.8\varepsilon_y, T_l = (B/2)^2/14.8\varepsilon_z \quad (3)$$

$$(\overline{v_t^2}) = \int u_x^2 dA/A, (\overline{v_v^2}) = \int u_{yz}^2 dA/A = (J_A - J_{A1})U^2, (\overline{v_l^2}) = \int (\bar{u}^y - U)^2 dA/A = J_{A1}U^2 \quad (4)$$

$$u_x(x, y, z, t) = \bar{u}_x(x, y, z, t) + \bar{u}_{yz}(y, z) + \bar{u}^y(z), U = \int \bar{u} dA/A \quad (5)$$

(2)式は、広幅の開水路流れにおいては、水深方向、及び水路幅方向の物質混合に要する時間スケール T_v , T_l が著しく異なることより、Lagrangeの自己相関関数を分解してモデル化することにより得られたものであり、第1項は乱流拡散の、第2項は局所平均流速の水深方向の非一様な分布の、第3項は局所平均流速の水路幅方向の非一様な分布の効果により生じる分散効果を示している。(3)式第3式から分かるように、分散係数は水路幅/水深比の関数となる。

(2) Euler的方法 (岩佐・綾; 1986)

$$D_E = \frac{1}{A} \int \varepsilon_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dA / \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{1}{A} \int \bar{u}_{yz} \bar{C}_{yz} dA / \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{1}{A} \int (\bar{u}^y - U)(\bar{C}^y - C) dA / \frac{\partial C}{\partial x} \quad (6)$$

$$c(x, y, z, t) = \bar{c}(x, y, z, t) + \bar{c}_{yz}(y, z, t) + \bar{c}^y(z, t), C = \int \bar{c} dA/A \quad (7)$$

(6)式は、流速が(5)式、濃度が(7)式のように分解可能と仮定して求められるものであり、第1項は乱流拡散の効果、第2項は局所平均流速の水深方向の非一様な分布の効果、第3項は局所平均流速の水路幅方向の非一様な分布の効果を示している。

第3項は、Taylor(1954), Fischer(1966)の解析法と同様に行えば次のようになる。

$$D_{E1} = \frac{1}{A} \int_{-b_1}^{b_1} \frac{dz_1}{\varepsilon_z d} \left(\int_{-b_1}^{z_1} (\bar{u}^y - U) dz \right)^2 = \frac{B^2 U^2}{\varepsilon_z} I_a, I_a = \frac{1}{BU^2} \int_{-b_1}^{b_1} \left(\int_{-b_1}^z (\bar{u}^y - U) dz \right)^2 dz \quad (8), (9)$$

第2項の評価は難しいが、Elder(1959)の結果が適用可能とすれば、 $D_{E2} = (6.3 \sim 15.0) du_*$ 程度の値となる。

(6), (8)式からわかるように、この場合も分散係数は、水路幅/水深比の関数となる。

なお、(2), (9)式の実験結果との適合性は、各参考文献に示されている。

3. 室内実験水路、河川における実験・観測結果：

既応の室内実験水路、河川における分散係数の測定結果を用いて、無次元分散係数と水路幅／水深比の関係として表示したものがFig.1である。

用いた資料は参考文献に記されているが、実験水路における7種計62データ、及び河川における4種計79データであり、いずれも、Fischer(1968), Iwasa・Aya(1980)に示されるように、 $T_1 > 6(x > 6T_1 U)$ の条件を満たす分散域における測定結果のみを用いている。なお、この種の実験としては、Fischer(1968)のものが著名であるが、彼の広幅断面における実験は、ほとんど上の条件を満足しておらず、また、台形断面におけるものは、側壁部に礫を積み上げた特殊なものであり、本解析の対象からは除外し、sand dune上における5例のみを用いている。

Fig.1より以下のことがわかる。

- 1) 実験水路、河川における測定結果を通じて、水路幅／水深比に対する強い依存性がみられる。
- 2) 水路幅／水深比の小さい領域における結果、及び、河川における測定結果のいくつかを除外すれば1)の関係は次式で示される。

$$D/du_* = 2.0(B/d)^{1.5} \quad (10)$$

- 3) 直線水路における岩佐・綾・薬師寺(1983), 村本・道上・伊丹(1978), Hayakawa・Fukushima・Sanjo(1984)の値と蛇行水路における福岡(1972), 池谷・玉井(1984)の結果を比較すれば、蛇行の分散係数に及ぼす影響は顕著ではない。
- 4) 岩佐・綾・薬師寺(1983), 福岡(1972)の滑面水路、及び粗面水路における実験結果を比較すれば、路床粗度の無次元分散係数に及ぼす影響は大きくない。

4. 結論：今回得られた3. 1), 2)の結果は、河川における観測結果を整理したLui(1978), Iwasa・Aya(1980)の結果と同種のものであるが、実験水路、河川を通じて、開水路流れにおいて広い水路幅／水深比の範囲で成立することが確認された。(2), (9)式に示されるように分散係数は、水路幅／水深比のみの関数とは考えられず、他の水理量との関係も検討されねばならないが、(10)式の適合性は高い。

参考文献：Iwasa・Aya(1985); Proc. 21 IAHR Congress, Iwasa・Aya(1980); Proc. 3 Sym. Stochastic Hydraulics, 岩佐・綾・薬師寺(1983); 京大防災研年報第26号B-2, 岩佐・綾(1986); 関西支部年講概要集, Taylor, G.I. (1954); Proc. Royal Soc. London, A223, Fischer, H.B. (1966); Report No. KH-R-12, Cal. Tech., Elder, J.W. (1959); J.F.M. Vol. 5, 村本・道上・伊丹(1978); 22回水講論文集, 福岡(1972); 土木学会論文報告集第200号, 池谷・玉井(1984); 第28回水講論文集, Glover, R.E. (1964); USGS Professional Paper, 1964, Hayakawa, Fukushima, Sanjo(1984); Proc. JSCE, No. 342, Nordin, C.F. and Sabol, G.V. (1974); USGS W.R.Z. 20-74, McQuivey, R.S. and Keefer, T.N. (1974); Proc. ASCE, Vol. 100, No. EE4, Godfrey, R.G. and Frederick, B.J. (1970); USGS p.p. 433-K, Yotsukura, N., Fischer, H.B. and Sayre, W.W. (1970); USGS W.S.P. 1899-G, Liu, H. (1978); Proc. ASCE, Vol. 104, EE4

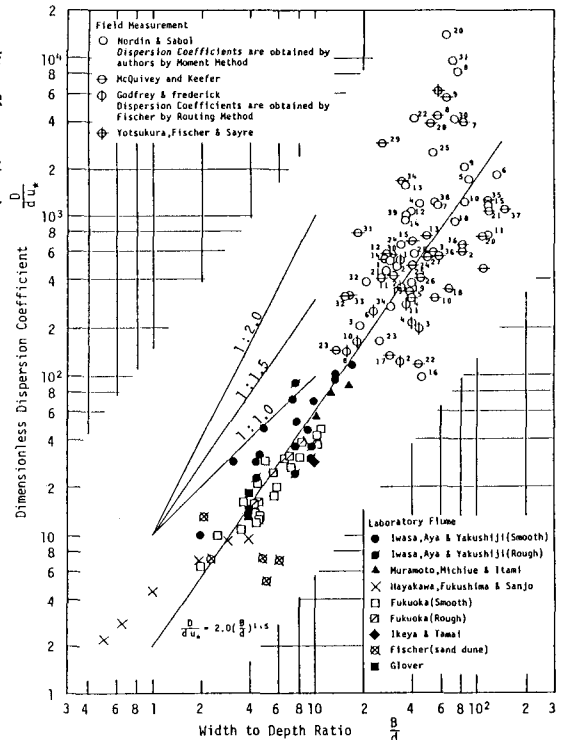


Fig.1 無次元分散係数とアスペクト比の関係