

京都大学大学院 学生員 牛島 省
京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
京都大学工学部 正 員 稜 史郎

1. はじめに;

本報文は室内実験水路や河川などの開水路流れにおいて行われるトレーサー実験において観測される分散雲の拡がりについて、その2次中心モーメントに関して考察したものであり、理論的な扱いとしては、粒子の運動を追跡するLagrange的解析法に中心を置き、Taylorの古典的乱流拡散理論¹⁾との相似性の観点より解析したものである。すなわち、乱流拡散理論の中心となるLagrangeの自己相関関数について前者らのLagrangeの数値シミュレーションによって得られた相関関数形のモデル²⁾の適用性について、2次中心モーメントの挙動ならびに分散係数を室内実験水路、および河川における観測値と比較することにより検討したものである。

2. 理論的考察;

流下方向に流れが等質で局所平均流速の分布が水深、水路幅方向に非一様なる次元せん断乱流場における流体粒子の流下方向の位置および拡がりについては、以下のように記述できる。

$$\text{粒子位置の平均; } [X] = [U]t = \bar{U}t \quad (1)$$

$$\text{粒子位置の分散; } [X'^2] = 2[U'^2] \int_0^t (t-\tau) R_L(\tau) d\tau \quad (2)$$

$$\text{分散係数; } D_L = [U'^2] \int_0^t R_L(\tau) d\tau \quad (3)$$

$$= [U'^2] T_{SL} \quad (t \rightarrow \infty) \quad (4)$$

粒子の有するLagrange的乱れ v'_x は、

$$v'_x(\alpha, t) = u'_x(X, Y, Z, t) + u'_{yz}(Y, Z) + u'_z(z) \quad (5)$$

$$= v'_x(\alpha, t) + v'_y(\alpha, t) + v'_z(\alpha, t) \quad (6)$$

また、Lagrangeの自己相関関数 $R_L(t)$ は、

$$R_L(t) = [U'^2]^{-1} \sum_{i,j} \frac{1}{T} \int_0^T v'_{xi}(t) v'_{xj}(t+\tau) d\tau \quad (i,j = x, y, z) \quad (7)$$

であり、ここに、 $v'_x = u'_x$, $v'_y = u'_{yz} = \bar{u} - \frac{1}{A} \int \bar{u} dy$,

$$v'_z = u'_z = \frac{1}{A} \int \bar{u} dy - \bar{u}, \quad \chi(\alpha, t) = \int_0^t v'_x(\alpha, \tau) d\tau + \alpha$$

自己相関関数の近似関数形²⁾として、

$$B_L(t) = [U'^2] e^{-\frac{t}{T_L}} + [V'^2] e^{-\frac{t}{T_V}} + [W'^2] e^{-\frac{t}{T_W}} \quad (8)$$

$$T_L = 0.72 d / u_*', \quad T_V = d^2 / 4.8 \epsilon_y, \quad T_W = (\frac{B}{\epsilon_z})^2 / 4.8 \epsilon_z \quad (9)$$

$$[V'^2] = \frac{1}{A} \int u'^2 dA, \quad [V'^2] = \frac{1}{A} \int u'^2_{yz} dA, \quad [W'^2] = \frac{1}{B} \int u'^2 dz \quad (10)$$

(ϵ_y, ϵ_z ; 各々、水深・水路幅方向の乱流拡散係数、 B ;

水路幅、 d ; 水深)を用いるものとする、

$$[X'^2] = \sum_i v'^2_i T_i \left\{ \exp(-\frac{t}{T_i}) + (\frac{t}{T_i}) - 1 \right\} \quad (i=x, y, z) \quad (11)$$

$$D_L = [U'^2] T_{SL}$$

$$= [U'^2] T_L + [V'^2] T_V + [W'^2] T_W \quad (12)$$

$$T_{SL} = \{ [U'^2] T_L + [V'^2] T_V + [W'^2] T_W \} / [U'^2] \quad (13)$$

となる。

3. 分散実験とその結果;

Table 1 実験条件とその結果

RUN NO.	(1) Q (cm ³ /s)	(2) B (cm)	(3) d (cm)	(4) u _* (cm/s)	(5) B/d	(6) $\bar{u}/u_*$	(7) D_L/du_*	(8) $D/d u_*$	(9) D_{F1}/du_*
R-911	1000	10.0	3.12	1.94	3.21	16.6	29.0	28.9	8.83
R-912	2210	10.0	5.02	2.21	1.99	20.0	13.4	9.56	5.34
R-913	562	10.0	2.05	1.69	4.88	16.2	39.6	47.6	14.6
R-111	643	10.0	2.27	1.75	4.41	16.2	44.5	28.6	13.7
R-112	294	10.0	1.37	1.45	7.30	14.8	73.2	69.0	33.2
R-921	2450	25.0	2.69	2.18	9.29	16.7	48.8	46.0	30.8
R-121	805	20.0	1.46	1.58	13.7	17.4	153	92.8	72.7
R-122	530	20.0	1.19	1.44	16.8	15.5	187	113	71.2
R-123	933	20.0	1.49	2.06	13.4	15.2		100	
R-124	1500	20.0	1.99	2.33	10.1	16.2		68.1	
R-125	1470	20.0	1.43	2.86	14.0	18.0		126	
R-221	1760	20.0	2.57	1.97	7.78	17.4	51.1	52.5	32.0
R-222	3960	20.0	4.23	2.38	4.73	19.7	32.8	32.6	16.9
R-111-RA	513	10.0	2.23	1.74	4.48	14.1		22.3	
R-112-RA	169	10.0	1.31	1.43	7.63	11.3		90.7	
R-121-RB	667	20.7	2.13	2.04	9.71	7.42	21.9	33.1	9.10
R-122-RB	1140	20.7	2.67	2.29	7.75	9.00	18.8	31.7	4.95
R-221-RC	1080	20.3	2.68	2.01	7.56	9.85	20.5	48.1	5.61
R-222-RC	699	20.3	2.13	1.85	9.50	8.75	24.2	31.0	9.42

京都大学工学部河川工学研究室において従来より行われてきたトレーサー実験の条件と得られた分散係数についてまとめたものがTable 1である。水路の断面形はいずれも長方形断面であり、水路幅は10, 20, 25cmの3通りであり、水路長は10cm幅のものが10m, 他のは36mである。また、 $d=1mm$ のガラスビーズ(RA), $d=2.50mm$ (RB), $1.49mm$ (RC)の砂粒を底面にはりつけて、粗面として用いている(他のは滑面である。)トレーサーとしては

比重調整された食塩水が用いられ、導電率計により、濃度の時間変化が同時多点測定されている。また、局所平均流速の分布形が、プロベラ式、あるいはホットフィルム流速計による多点計測より得られている。モーメント法により算出された分散係数が(8)欄に、(9)~(12)式により推定された分散係数が(9)欄に示されている。また、(9)欄は、Fischerの公式³⁾($E_2=0.2du_*$)により推定された値が示されている。

また、河川における観測結果としては、Godfrey-Frederick⁴⁾により、観測された濃度時間変化と流速分布形より求められる分散係数およびそれらを解析したFischerの結果³⁾を用いた。

Fig.1は、これらの実験・観測より得られた無次元分散係数 D/du_* とアスペクト比 B/d の関係を示したものであり、 $D/du_* \propto (B/d)^{1.5}$ の関係がみられ、これは既報の結果⁵⁾を再確認するものとしてよい。

4. 統計的分散と分散係数；

統計的分散の時間的変化について、実験により得られた値を $z=uct$ により変換したものと(9)~(11)式により、計算された値とを比較したものが、Fig.2である。これらの図からは、両者は良一致を示しているものとしてよい。

また、分散係数について、実験値と(9)~(12)式により得られる値を比較したものがFig.3である。この図より、

(12)式による分散係数の推定が、室内実験水路、河川を通じて、かなり良好に行なえることが確認されるが、河川における推定の精度は、やや落ちるようである。一方、Fig.4は、(9)~(12)式により得られる分散係数とFischerの公式により得られる値とを比較したものであり、河川における値は、断面毎に測定された流速分布形より求めた。この図より、河川における分散係数については2つの公式は、ほぼ同じ程度の値を与えるのに対して、実験水路についてはFischerの公式は、小さな値を与える。この理由としてFischer公式では、木床方向の局所平均流速分布の非一様性が考慮されていないことが考えられよう。

5. 結論；

開水路流れの分散係数推定式として、(12)式の通用性が確認された。

参考文献) 1) Taylor, G.I.; Proc. London Math. Society, A20, (1921). 2) 三石, 稔, 葉師幸; 土木学会年報 1983,

3) Fischer, H.G.; Proc. ASCE, Vol. 94 No. SA5, 1968. 4) Godfrey, R.G. & Frederick; Prof. Paper 433-K, USGS, 1970.

5) Iwasa, Y. and Aya, S. Proc. 3rd Int. Symp. on Stochastic Hydraulics, 1980.

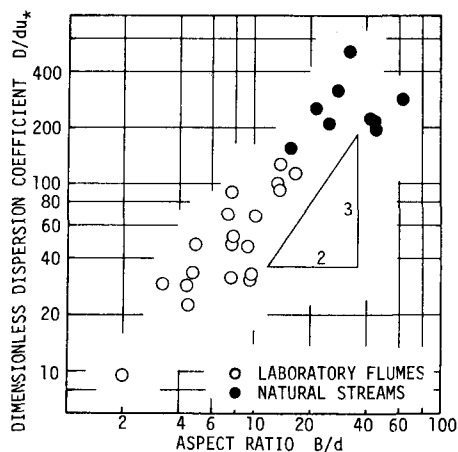


Fig.1 分散係数とアスペクト比

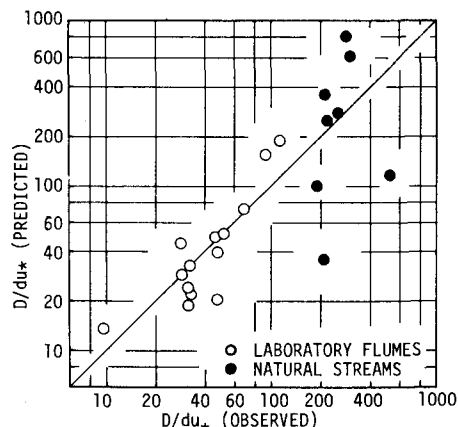


Fig.3 分散係数

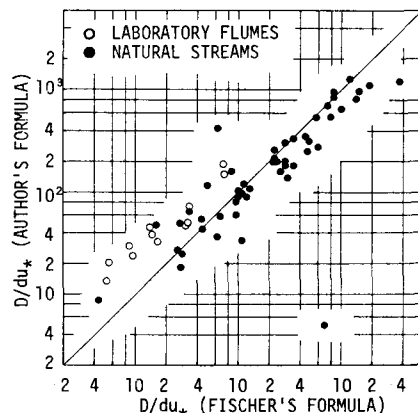


Fig.4 分散係数の比較