

河川におけるトレーサークラウドの挙動の解析

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
 京都大学工学部 正 員 綾 史郎
 京都大学大学院 学生員 戸田 圭一
 京都大学大学院 学生員 〇薬師寺 公文

1. はじめに; 開水路流れにおける平均流速や移流分散係数を求める方法の一つであるパルストレーサーテストでは、観測される濃度～時間曲線は、立ち上がりが急で後半部に長く尾を引くことが知られている。また、トレーサークラウド(以下、分散雲と呼ぶ)の統計的分散は、非線形成長を示し、後に線形成長となることが多い。本研究は、河川におけるトレーサーテストにおける分散雲の1次・2次・3次モーメントの挙動を明らかにし、これらをパラメーターとし、ガンマ分布型の確率密度関数で濃度～時間曲線の近似を行なったものである。なお、河川における観測例はGodfrey・Frederickらによって米国の河川において行なわれたもの⁽¹⁾を使用している。

2. 1次モーメントの挙動; 測定区間内の下流部3～4断面における断面平均流速を平均したものを断面平均流速 v として、1次モーメントと距離の関係を無次元化し、 $\bar{x}/L$ と $\bar{x}/L$ の関係として、両対数紙上に表わしたものが、図-1である。ここに、 $\bar{x}$ は河川の中央測点での濃度～時間曲線の1次モーメント(重心)、 L は移流分散に関するLagrangian Integral Time Scaleである。図より

$$\bar{x}/L = 0.8 \bar{x}/L \quad (1) \quad \text{とできる。}$$

3. 2次モーメントの挙動; 矩形滑面実験水路において分散の断面平均は $\sigma_c^2/2J_A L^2 = \exp(-X) + X - 1$ (2) で表わせる⁽²⁾。ここに、 $J_A = \frac{1}{A} \int (1 - \frac{u}{v})^2 dA$ (3)、 $X = \bar{x}/L$ (4)である。中央1点の濃度～時間曲線では、図-2に示すように(2)式は適用できず、 $x \rightarrow \infty$ で $d\sigma_c^2/dx = d\sigma_c^2/dx$ (図-3参照)となる性質に着目すると、 $\sigma_c^2/2J_A L^2 = \exp(-X') + X' - 1$ (5)、 $X' = \bar{x}'/L$ (6)となる。 L は、(5)式が σ_c^2 の良い近似になるように定められる時間の次元を持つパラメーターである。図-4には $\sigma_c^2/2J_A L^2 \sim X'$ の関係及び(5)式が記されているが、(5)式は中央測点の分散の挙動をよく近似している。

4. 3次モーメントの挙動; 3次モーメント m_{3c} は、図-5に示すように $-m_{3c}/J_A L^3 = \alpha X'^2$ (7) で表わせる。ここに、 $J_{A3} = \frac{1}{A} \int (1 - \frac{u}{v})^3 dA$ (8)、 α : 定数であり、 $0.04 < \alpha < 0.4$ 程度の

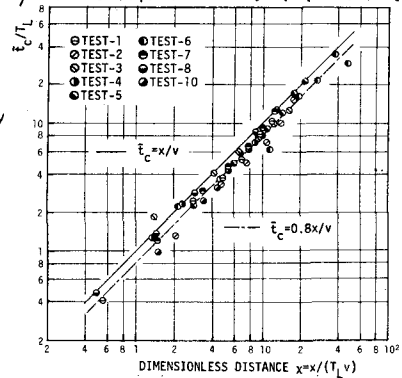


図-1

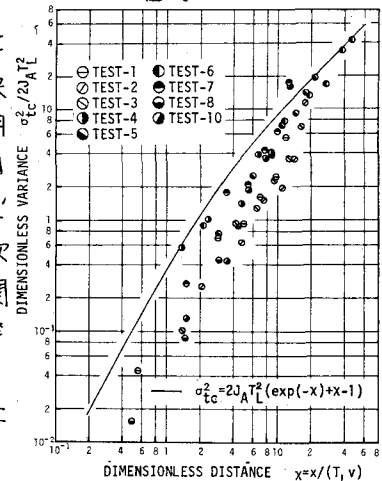


図-2

YOSHIAKI IWASA; SHIROU AYA; KEIICHI TODA; KIMIFUMI YAKUSHIJI

値である。

5. ガンマ分布による濃度波形の予測；ガンマ分布は、パラメーターを適切に選ぶことにより、濃度～時間曲線をよく近似することが知られている。ガンマ分布型の確率密度関数 $f(t)$ は、

$$f(t) = \frac{1}{\Gamma(n)} \lambda^n (t-t_i)^{n-1} \exp[-\lambda(t-t_i)]$$

($t-t_i \geq 0$) (9) である。ここに、 $\Gamma(n)$ はガンマ関数、 n は形状母数、 $1/\lambda$ は尺度母数、 t_i は原点母数である。これらのパラメーターと1次・2次・3次モーメントとの関係は、 $n = 4(\sigma_c^2)^3 / m_{3c}^2$ (10)、 $\lambda = 2\sigma_c^2 / m_{3c}$ (11)、

$t_i = \bar{t}_c - 2(\sigma_c^2)^3 / m_{3c}$ (12) である。観測された1次・2次・3次モーメントから3つのパラメーターを決定し、(9)式で波形近似を行なった場合の波形の適合性を調べるため、実測値の総度数を100とみなして有意水準5%で適合度検定を行なった結果が表-1である。Test 4, 7, 10以外のケースでは、ガンマ分布による波形近似が可能であると言えよう。2~4節で得られた(1), (5), (7)式を(10), (11), (12)式に代入し、パラメーター n, λ, t_i を定め、(9)式より濃度波形の予測を行なったものの例が図-6, 図-7である。

波形は、図-6のように、3つのモーメントを観測結果から求まった値を用いてパラメーターを決めた場合(実線)と相似であるが、 $\bar{t}_c$ のずれを伴う場合や、図-7のように σ_c の変化に対して波形の変化が敏感なものもある。

6. おわりに；断面平均流速の決定法に問題が残されるが、 $\bar{t}_c$ の伝播速度は(1)式より1.25 $\bar{v}$ で表現できる。 σ_c^2 に関しては、(5)式でその挙動を表現できるが、 T_A, T_L, T_D に大きく影響されるため、分散係数の決定法、流速分布の測定法、計算法の精度の向上が課題となろう。 m_{3c} は、従来の研究と比較すると、分散雲の発達過程の最終段階に達してないと推測され、今後、より流下スケールの長い観測により、その特性を正確に把握する必要がある。

《参考文献》 ① Godfrey-Frederick U.S.G.S. 433-K 1970

② 綾・岩佐・戸田 第25回水理講演会論文集 1981

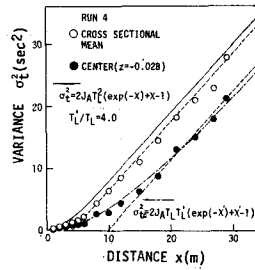


図-3

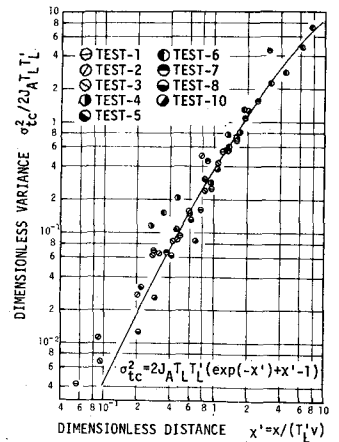


図-4

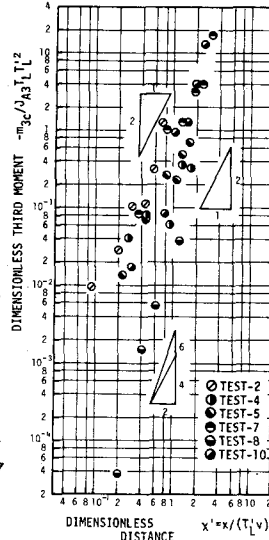


図-5

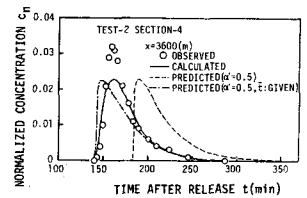


図-6

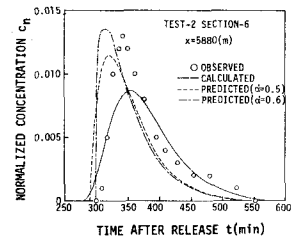


図-7

表-1

Test-Number	試行断面数	適合度の評価
1	6	5
2	5	5
3	6	6
4	5	3
5	6	6
6	5	5
7	2	1
8	4	3
10	3	1