

乱流拡散における濃度と採取時間との関係

電力中央研究所 正員 日野 幹雄

大野 博教

○本間 端雄

1] 乱流拡散の問題は、近時産業公害（水質汚染・大気汚染）の重大化にともなって、われわれ土木技術者にとっても身近な研究課題となりつつある。とくに産業公害に関する拡散においては、対象とする現象のスケールが大きいことが特色である。こうした（大気・海洋・湖水などの）大規模拡散では大きな渦の作用による Meandering 現象が見られ、その結果同一点の濃度でも短時間値は長時間値よりも大きい。一方、人体や動植物にとっては濃度がある限界値を越えて長時間続くときに有害である。

2] 乱流拡散における「濃度と時間との関係」として、Stewartらの実測より導かれた「乗速減則」— いわゆる Meade 係数 — が関係者の間で用いられて来た。一方、理論的には井上(1952)が乱流理論から、小倉(1959)は Lagrange 相関に「乗形」を仮定して、日野(1964)は流向変動幅からと、それぞれ異なる方法で「乗速減則」を導いたが、実測資料は十分でなかった。そこでわれわれはとくにトレーサー物質を搬送して長時間の大規模拡散を行い、これに裏付けるデータを得ることに努めた。

3] さて、流向変動のスペクトルを $S(f)$ とする。拡散質が source をはなれある地点に達する時間(到達時間)を t (sec), 採取時間を T (sec) とする。このとき、この地点の拡散に関与する流向変動のスペクトルは

$$S'(f) = S(f) G(f; T, \lambda) \quad (1)$$

となる。ここに、filter $G(f; T, \lambda)$ は次式で表わされる。

$$G(f; T, \lambda) = \left[1 - \frac{\sin^2 \pi T f}{(\pi T f)^2} \right] \frac{\sin^2 \pi \lambda f}{(\pi \lambda f)^2} \quad (2)$$

一方、流向変動の最大半幅 $E(\xi_{\max})$ は、Rice ; Longuet-Higgins & Cartwright の雑音統計理論より式(3)のように表せる。

$$E(\xi_{\max}) = \sigma \int_0^{\infty} \{ 1 - [1 - (1 - e^{-s})^2] e^{-\frac{s^2}{2}} \}^{\text{TN}} ds \quad (3)$$

あるいは、 $\text{TN}(1 - e^{-s})^2$ が大きければ漸近展開から

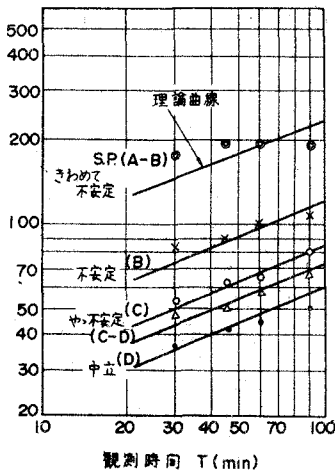
$$E(\xi_{\max}) \approx \sigma (2\theta)^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{1}{2} A_1 \theta^{-1} - \frac{1}{8} A_2 \theta^{-2} + \frac{1}{16} A_3 \theta^{-3} - \dots \right] \quad (4)$$

である。ここに、 $N(1 - e^{-s})^2 = (2\pi)^{-1} \rho / \sigma$, $\sigma^2 = \int_0^{\infty} S'(f) df$, $\rho^2 = (2\pi)^2 \int_0^{\infty} f^2 S'(f) df$, $\theta = \ln \{ \text{TN}(1 - e^{-s})^2 \}$, $A_1 = \gamma = 0.5772$, $A_2 = 1.9781$, $A_3 = 5.4449$ である。

図-1は Kolmogorov の inertial subrange spectrum $S(f) = A f^{-5/3}$ を用いた理論曲線と実測との比較である。図中の $A, B, C, \dots$ 等のパラメータは成層の安定度を表すもので Richardson 数

$$Ri = \frac{g}{N^2} \cdot (\partial T / \partial z) / (\partial u / \partial z)^2 \quad (5)$$

(観測時間内の最大風向変動巾)



と一對一の対応がある。

他方最大濃度は

$$C_{max} = \frac{\alpha Q}{UH^2} \left(\frac{G_x}{G_y} \right) \quad (6)$$

である。(Q: 放出率, U: 流速, H: sourceの高さ, G_x, G_y : 水平および鉛直方向の拡散係数) G_x は一般に崖面や水面に束縛されて時間には無関係に一定であるが, G_y は meandering にともない時間とともに増加する。図-1によれば流向変動幅つまり水平方向の拡散係数は時間の $1/2$ 乗に比例して増加している。したがって, C_{max} は次のようになる。

$$C_{max} \propto T^{-1/2} \quad (7)$$

4] 実測は煙の大気拡散について行われた。トレーサに硫酸コバルトを用い、各点で採取のものを紙子で約15時間中性子照射を行い、短半減期核種 (^{24}Na , ^{56}Mn など) 生成放射能を除くため約30日向冷却したのち、波高分析器により生成放射能によるガンマ線エネルギー スペクトルを求めた。

図-2は実測結果であり、最大濃度が時間の $1/2$ 乗に逆比例して逆減していることが明かである。また、この法則が成立する時間範囲は現象に因する最大滴の寿命時間内である。

このような濃度と採時時間の関係は、最大滴の寿命時間の短い河川ではあまり問題とならないが、海洋・湾・湖沼などスケールの大きな拡散の観測や計算にはつねに留意しなければならない点である。

