

大気環境基準について

京大工, 正員 医博 庄司光, 学生員[○]塚谷恒雄

大気汚染問題は、工学的には風洞模型実験、数値実験などによってその研究が進められている。本研究は、これらの目標を設定するための一つの基準を示すものである。

大気汚染自動測定機によって得られた汚染物質濃度の確率密度分布は、対数正規型をなす。大阪、尼崎における浮遊粉塵、硫酸化物の分布形を整理したが、図-1の例に示されるように、かなり良く対数正規型に合致する。

一方最近になって、人体に対する汚染物質の許容基準を、汚染物質濃度とその持続時間をもって定義することが提唱されはじめた。持続時間 s に対応するその汚染物質の人体に対する許容濃度を $X_c(s)$ とすると、大気中の汚染物質濃度の守られねばならない制限式は、次のようになる。ここで濃度変動 $X(t)$ は定常過程であるとみなしている。

$$\exp\left(\frac{1}{s} \int_0^s \log X(t) dt\right) < X_c(s) \quad \text{----- (1)}$$

式(1)の如く、 $X(t)$ の平均値として幾何平均値を採用するのは、イ、対数正規分布をなす変量の平均は幾何平均が妥当である。ロ、 $X_c(s)$ を決定する既往の医学研究と矛盾しない。などの理由によるものである。

次に、定常過程 $X(t)$ の対数値 $X(t)$ もまた定常過程とみなせるので、 $X(t)$ のスペクトル表示をすれば、 $X(t) = \bar{X} + \int_{-\infty}^{\infty} \exp(i\lambda t) dZ(\lambda)$ となり、 $X(t)$ の分散 σ^2 は

$$\sigma^2 = E\{ |X(t) - \bar{X}|^2 \} = \int_{-\infty}^{\infty} dF(\lambda) \quad \text{となる。又、} X(t) \text{を平均化時間} s \text{で移動平均した変動量の}$$

分散を σ_s^2 とすると、これは次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= E\left\{ \left| \frac{1}{s} \int_0^s X(t) dt - \bar{X} \right|^2 \right\} \\ &= E\left\{ \left| \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(i\lambda s) - 1}{i\lambda s} dZ(\lambda) \right|^2 \right\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{\sin(\lambda s/2)}{\lambda s/2} \right)^2 dF(\lambda) \\ &= \sigma^2 \int_0^{\infty} \left(\frac{\sin \pi n s}{\pi n s} \right)^2 \Phi(n) dn \quad \text{--- (2)} \end{aligned}$$

ここに、 $F(\lambda)$ はスペクトル分布関数、 $\Phi(n)$ はスペクトル密度関数であり、 $n = \lambda/2\pi$ である。 $\Phi(n)$ の実測例を図-2に示す。これによれば $\Phi(n)$ の形としては、Markoffian Spectrum が比較的良く一致するようである。

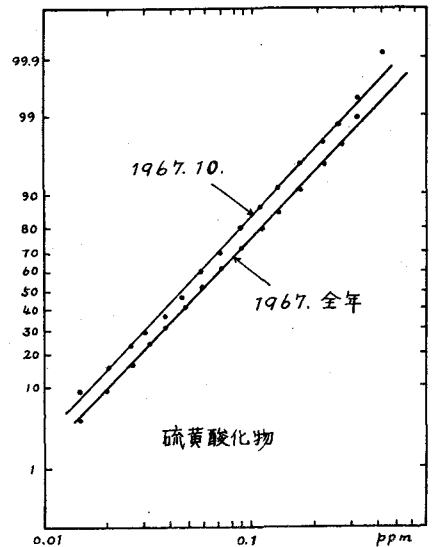


図-1 対数正規分布の実測の一例(尼崎)

$X(t)$ ($=\log x(t)$) の確率密度関数を $B(X)$, $X(t)$ を平均化時間 s で移動平均した変動量の確率密度関数を $B_s(X)$ とすると、これらはそれぞれ式 (3), (4) で表わされる。

$$B(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(X-\bar{X})^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \text{---(3)}$$

$$B_s(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} \exp\left\{-\frac{(X-\bar{X})^2}{2\sigma_s^2}\right\} \quad \text{---(4)}$$

式 (3) の母数は実測より求めることができ、式 (4) の母数 σ_s は式 (2) より求めることができる。

さて、式 (1), (4) より、 s 時間平均濃度が許容値を超過する確率 $\eta(s)$ は次のようになる。

$$\eta(s) = \int_{X_c(s)}^{\infty} B_s(X) dX = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} \int_{X_c(s)}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(X-\bar{X})^2}{2\sigma_s^2}\right\} dX$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y(X_c(s))}^{\infty} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy \quad \text{---(5)}$$

$$y(X_c(s)) = \frac{1}{\sigma_s} (X_c(s) - \bar{X}), \quad X_c(s) = \log x_c(s)$$

いま基準となる時間を T とすると、 T 時間のうちで許容値を越える回数 N は、 $N = T \cdot \eta(s) / s$ となる。よって大気中の汚染物質濃度の守られなければならない基準は、 N が 1 を越さないことである。

$$\frac{s}{T} > \eta(s) \quad \text{---(6)}$$

式 (6) の不算号を算号に置き換えたときの $y(X_c(s))$ の値を式 (5) より求め、それを y_c とすると、式 (6) は式 (7) に相算するようになる。

$$y_c < \frac{1}{\sigma_s} (X_c(s) - \bar{X}) \quad \text{---(7)}$$

以上をもとにして、硫酸化物について計算した結果の一例を表および図-3 に示す。

ここで $x_c(s)$ としては、1 時間値 0.1 ppm, 24 時間値 0.05 ppm なる数値をもとにして、外挿、内挿し、 $x_c(s) = 100 s^{-0.218}$ (ppb) なる指数型を仮定した。

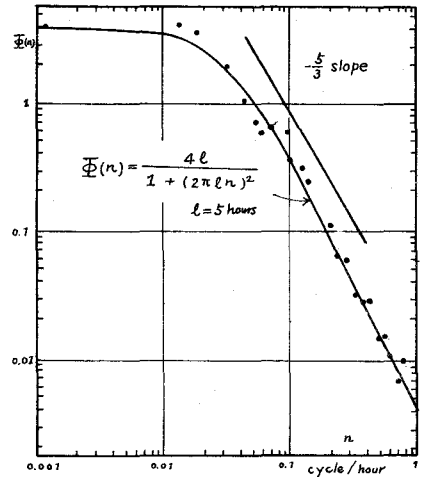


図-2. スペクトルの一例 (大阪) $\ell = 5.4$ hour

s	s/T	y_c	$X_c(s)$	$G(1)/G(s)$
1hr	0.000114	3.63	4.6052	1
2	0.000228	3.51	4.4542	1.026
4	0.000457	3.315	4.3032	1.203
8	0.000913	3.12	4.1522	1.616
12	0.00137	2.995	4.0632	2.105
1day	0.00274	2.78	3.9122	3.885
2	0.00548	2.545	3.7612	9.31
4	0.01096	2.29	3.6112	33.3
7	0.01918	2.07	3.4892	
14	0.03836	1.77	3.3372	
1m.	0.08333	1.38	3.1682	

$$\frac{1}{\sigma_s} = \frac{1}{\sigma(1)} \sqrt{G(1)/G(s)}$$

$$G(s) = \int_0^{\infty} \Phi(n) \left(\frac{\sin \pi n s}{\pi n s} \right)^2 dn$$

$$T = 1 \text{ year} = 8760 \text{ hrs}$$

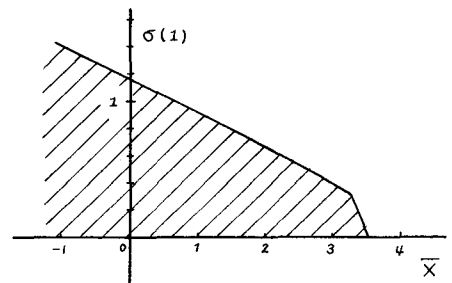


図-3. 硫酸化物の環境制限範囲例