Ⅳ-85　道路騒音の L_{eq} の測定方法（サンプリング個数とサンプリング間隔）について

京都大学衛生工学　正　○高木興一，平松幸三，山本剛夫

1．はしがき　一般の地域や，道路に面する地域の騒音の環境基準は，現在，L_{50}（中央値）で定められている。しかし，近時，等価騒音レベル，すなわち，L_{eq} が，種々の騒音の評価尺度として，広く用いられる傾向にある。本報告は，道路騒音の L_{eq} 測定に際し，どの程度のサンプリング個数，サンプリング間隔が必要かなどについて，車頭間隔が指数分布する交通流モデルを想定した場合の検討結果を示したものである。

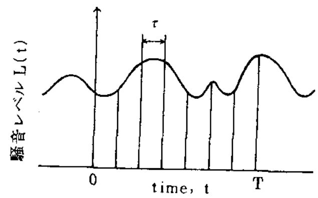

図１　騒音レベルの波形

2．道路騒音の L_{eq} の計測　図1.に示すようなレベル波形があるとき，平均化時間Tの L_{eq} は，その定義から，

$$\mathrm{Leq} = 10\log_{10}\int_0^T \frac{1}{T}10^{\frac{L(t)}{10}}dt \qquad (1)$$

となる。同じレベル波形について，時間間隔τごとに騒音レベルを n 個計測し，L_{eq} を求めるとすれば，L_{eq} は次式となる。

$$\mathrm{Leq} = 10\log_{10}\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}10^{\frac{L(\tau\cdot i)}{10}} \qquad (2)$$

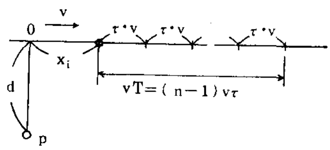

図２　τごとに計測するときの，任意の一台の車の車線上の位置

便宜上，以下では，前者を連続的計測，後者を離散的計測と呼ぶが，現在は，一般的には離散的な計測が広く行われているようである。図1のような，一つの定まつたレベル波形が与えられたときには，τを小さく，したがって，n を大きくするほど，(1)式の定義による L_{eq} の値に近づく。交通流が定常な場合の道路騒音では，十分長い期間にわたる L_{eq} は一定値を持つが，(1)式又は(2)式から求められる，有限な期間における L_{eq} は，測定のたびに変動すると考えられる。ここでは，無限に長い一車線上を，パワー（W）の等しい車が，一定速度Vで，平均の車頭間隔がS(m)の指数分布をするような状態で走行しているモデルを想定し，一定の精度で L_{eq} を得るために必要な，n，τ，Tの関係について考察を加える。

3．音の強さの平均値と分散　時間間隔τごとに，騒音レベルを n 個計測するとき，任意の一台の車のみによる，観測点Pでの音の強さの平均値 I_i は，図2から

$$I_i = \frac{1}{4\pi n}\sum_{i=0}^{n-1}\frac{W}{d^2+(x_i+v\tau i)^2} \qquad (3)$$

となる。同様に，時間T〔T＝τ(n−1)〕にわたる連続的計測の場合には，I_i は，

$$I_i = \frac{1}{4\pi T}\int_0^T \frac{W}{d^2+(x_i+vt)^2}dt = \frac{W}{4\pi Tvd}\left(\tan^{-1}\frac{x_i+vT}{d}-\tan^{-1}\frac{x_i}{d}\right) \qquad (4)$$

となる。すべての車による音の強さの平均値Iは，$I=\sum I_i$ で求められるが，このIは確率変数となる。Iに対する特性関数（characteristic function）を $g(u)$ とし，$K(u)=\ln g(u)$ で定義される，キュムラント関数を導入すると，$K(u)$ は(5)式のように表わされ，$K(u)$ から求められる，Iの平均 $\bar{I}$ は(6)式で示される。

$$K(u) = \frac{1}{S}\int_{-\infty}^{\infty}(e^{iuI_i}-1)dx_i \qquad (5) \qquad\qquad \bar{I} = \frac{W}{4dS} \qquad (6)$$

この $\bar{I}$ は，離散的，連続的計測のいずれの場合にも，指数分布モデル，等間隔モデルにおける音の強さの平均値と同じ値となる。連続的計測および離散的計測の場合のIの分散を，それぞれ，$\sigma^2(T)$，$\sigma^2(\tau,n)$ とすると，

これらは，K(u) から，次のように求めることができる。

$$\sigma^2(T)=\frac{1}{S}\int_{-\infty}^{\infty}\left(\frac{W}{4\pi Tvd}\right)^2\left(\tan^{-1}\frac{x+vT}{d}-\tan^{-1}\frac{x}{d}\right)^2dx=\frac{W^2}{4\pi Sd^2T^2v^2}\left[\frac{vT}{2d}\tan^{-1}\frac{vT}{2d}-\frac{1}{2}\ln\left\{1+\left(\frac{vT}{2d}\right)^2\right\}\right] \quad (7)$$

$$\sigma^2(\tau,n)=\frac{1}{S}\left(\frac{W}{4\pi n}\right)^2\int_{-\infty}^{\infty}\left[\sum_{i=0}^{n-1}\frac{1}{d^2+(x+v\tau i)^2}\right]^2dx=\frac{2}{S}\left(\frac{W}{4\pi n}\right)^2\left[\frac{\pi n}{4d^3}+\frac{2\pi}{d}\left\{\frac{1}{(2d)^2+(v\tau)^2}+\frac{2}{(2d)^2+(2v\tau)^2}+\cdots\cdots+\frac{n-1}{(2d)^2+\{(n-1)v\tau\}^2}\right\}\right] \quad (8)$$

(8)式の右辺は，区分求積の考え方を適用して，近似的に表現すると，(9)式となる。この式において，$\tau \fallingdotseq T/(n-1)$ として $n\to\infty$ とすると，(7)式の $\sigma^2(T)$ と一致する。すなわち，(9)式は $n=1$，および $n\to\infty$ においては厳密な表示となっている。

$$\sigma^2(\tau,n)\fallingdotseq\frac{2}{S}\left(\frac{W}{4\pi n}\right)^2\left[\frac{\pi n}{2d^3}+\frac{2\pi}{d}\int_{\frac{1}{2}}^{n-\frac{1}{2}}\frac{n-x}{(2d)^2+(v\tau x)^2}dx\right]=\frac{2}{S}\left(\frac{W}{4\pi n}\right)^2\left[\frac{\pi n}{4d^3}+\frac{\pi n}{v\tau d^2}\left\{\tan^{-1}\frac{v\tau(n-\frac{1}{2})}{2d}-\tan^{-1}\frac{v\tau}{4d}\right\}+\frac{\pi}{d(v\tau)^2}\ln\frac{(2d)^2+\{v\tau(n-1/2)\}^2}{(2d)^2+(v\tau/2)^2}\right] \quad (9)$$

4. n，τ，T の関係　n が十分大きいとき，上記の I の分布は，中心極限定理から，ほぼ，正規分布にしたがうと考えられる。したがって，今，ある確率（$1-2\alpha$）で，計測した L_{eq} の変動幅が ΔL dB の範囲に入るようにするために必要なサンプル数 n は，

$$10\log_{10}\frac{\bar{I}+k\sigma(\tau,n)}{\bar{I}-k\sigma(\tau,n)}=10\log_{10}\frac{1+k\frac{4dS}{W}\sigma(\tau,n)}{1-k\frac{4dS}{W}\sigma(\tau,n)}\leqq\Delta L \quad (10)$$

をとくことによって求めることができる。ただし，K は(11)式に示すように，α によって定まる値で，標準正規分布表から求めることができる。たとえば，$\alpha=0.01$，すなわち，98%の確率で，L_{eq} の変動が ΔL dB の範囲に入るように考える場合は，$K=2.326$ である。また，$4dS/W\cdot\sigma(\tau,n)$ は，n が大のときは，以下の(12)式となる。したがって，結局，サンプル数 n は(13)式で示される。

$$\int_{-\infty}^{k}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{t^2}{2}}dt=1-\alpha \quad (11)$$

$$\frac{4dS}{W}\sigma(\tau,n)\approx\left[\frac{2S}{\pi n}\left(\frac{v\tau}{4d}+\frac{\pi}{2}-\tan^{-1}\frac{v\tau}{4d}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$n\geqq\frac{2Sk^2}{\pi v\tau}\left(\frac{v\tau}{4d}+\frac{\pi}{2}-\tan^{-1}\frac{v\tau}{4d}\right)\cdot\left(\frac{10^{\frac{\Delta L}{10}}+1}{10^{\frac{\Delta L}{10}}-1}\right)^2 \quad (13)$$

(13)式において，$\tau\to\infty$ とすると，(14)式となるが，このときの n_0 は必要最小サンプル数を示す。また(13)式で，$n\tau=T$ とし，$\tau\to 0$ とすると(15)式となるが，この T_0 は，連続的計測の場合の最小必要計測時間を与える。

$$n_0\geqq\frac{Sk^2}{2d\pi}\left(\frac{10^{\frac{\Delta L}{10}}+1}{10^{\frac{\Delta L}{10}}-1}\right)^2 \quad (14)$$

$$T_0\geqq Sk^2\frac{1}{v}\left(\frac{10^{\frac{\Delta L}{10}}+1}{10^{\frac{\Delta L}{10}}-1}\right)^2 \quad (15)$$

一例として図3に，$V=60$ km/h，$d=2$ m，$\Delta L=2$ dB，$\alpha=0.01$ の場合について，τ，n，T の関係を S をパラメータとして示した。たとえば S = 100 m のとき，1秒ごとに計測すれば，1000 個のデータ，1000秒が必要である。

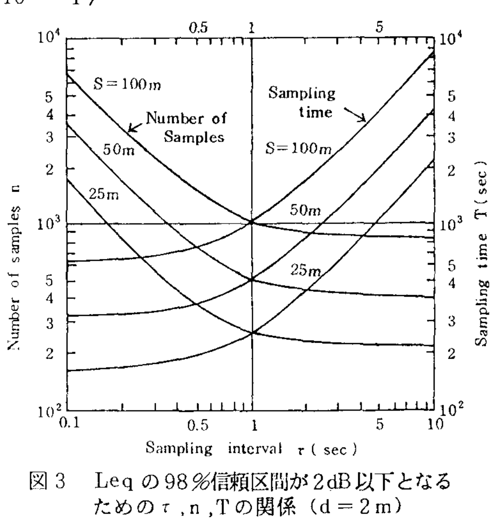

図3　Leq の98%信頼区間が 2dB 以下となるための τ，n，T の関係（d = 2 m）