

自動車定常走行時の道路交通騒音の一簡易推定法

A SIMPLE PREDICTIVE METHOD OF ROAD TRAFFIC NOISE GENERATED FROM VEHICLES RUNNING AT A CONSTANT SPEED

渡辺 義則*・角 知憲**・菊永 昌洋***・田中 浩一郎****

By Yoshinori WATANABE, Tomonori SUMI, Masahiro KIKUNAGA and Kouichiro TANAKA

In this paper, simple analytical expressions for predicting percentile and equivalent sound level (L_x and $L_{Aeq,T}$) propagating over various ground surfaces from a stationary traffic flow are presented. Particularly on a straight motorway in a flat site, where noise radiates from freely flowing traffic whose headway is subject to Exponential distribution, simple predictive equations for calculating L_x and $L_{Aeq,T}$ are functions of hourly volume, mean speed, proportion of trucks, integration values of weighting function corresponding to sound propagation characteristics and so on. And validation studies have indicated that percentile and equivalent sound levels were calculated accurately from presented simple equations.

Keywords : noise pollution, road traffic noise, noise prediction

1. 緒 言

現在、環境アセスメントで利用されている騒音推定式は、等間隔等パワーモデルを基盤にした日本音響学会式である^{1,2)}。等間隔等パワーモデルでは無限に長い一車線上を音響出力の等しい無指向性の点音源とみなせる車両が等間隔等速度で走行するという仮定のもとに解析が行われる。このモデルは予測の対象とする騒音評価量が比較的簡単な関数で陽表示できる、取扱いが簡便であるなどの長所をもつが、しかし一方では、融通性に乏しい、現実の道路交通騒音に関するきわめて複雑な要因を過度に理想化しているなどの短所をもっている³⁾。特に騒音評価量（この場合、騒音レベルの中央値 L_{50} ）の予測計算値と実測値の間に有意な差が生じるという欠点がある。そこで日本音響学会式では等間隔等パワーモデルの長所を生かす一方で、多数の実測結果から逆算した補正値 α_t を導入して、両者を近づける措置をとっている。

しかし、日本音響学会式では、車両を道路上に等間隔

に配置することを前提にしたり、時間交通量が 1 000 v. p. h. 以上の場合に適用を限定するなど交通条件の制約が厳しい。また、補正値 α_t は地表面やのり面の状況の違いによって有意に異なるにもかかわらず⁴⁾、平坦、盛土、切土、高架という道路構造別に平均値で与えている。それゆえ、交通信号の制御で意図的に道路交通流の特性を変化させて減音するなど⁵⁾の交通運用面からの対策は検討できない、地表面やのり面の状況の違いに応じた融通性のある予測ができない、 L_{50} 以外の騒音統計量を評価に用いる場合には、補正値を再調査する必要があるなどの改善すべきところがある。そこで、交通条件の制約を緩めるという視点から、車頭間隔を指數分布やアーラン分布に仮定したモデルなどが提案されている³⁾。ただ、そこでは音が幾何減衰するという前提が依然存在し、実測値との間に有為な差が生じる主因となっている⁶⁾。それゆえ、本研究では、道路周辺の騒音伝播特性を推定式の中に組み込むことを最優先の課題にしつつ、交通条件も制約の少ない騒音推定法を示す。つまり、本研究では騒音伝播特性や道路上の車両配置に制約を設けないで、騒音予測のための基本式をまず導いている。なお、具体的な問題については、この基本式をさらに展開していく必要があるが、一般に道路構造別の騒音伝播特性は複雑であるし、また、信号の影響を受けた市街地

* 正会員 工博 九州工業大学助教授 工学部開発土木工学科 (〒804 北九州市戸畠区仙水町1-1)

** 正会員 工博 九州大学助教授 工学部土木工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

*** (株) 松尾設計 (〒101 千代田区内神田2-4-4)

**** (株) 日立物流 (〒737 広島県呉市宝町6-25)

の道路交通特性の解明も十分でない。そこで、具体的な問題へ展開するときの端緒とすべく、本論文では、道路構造は平坦で、車両はポアソン到着する場合について適用した例を示す。なお、著者らの既往研究⁹⁾では、コンピュータシミュレーションによって騒音評価量を求める必要があったが、本研究では、騒音評価量を関数で表わすように努力する。そうすれば、取扱いが簡便であるし、関数に含まれる変数の騒音評価量に対する感度解析もできる。ただし、騒音伝播特性が複雑になると、騒音評価量を関数で陽表示できないところが生じる。このような場合には図表を用意して、前述の利点の確保に努める。

2. 等価騒音レベルの簡易推定法

JIS Z 8731 の改訂によって、騒音評価量として式(1)で定義される等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ が導入され、環境アセスメント時にこれを計算する必要が生じている⁷⁾。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} (\mu_z / I_0) \dots \dots \dots (1)$$

T : 時刻 t_1 に始まり時刻 t_2 に終わる実測時間

$z(t)$: 対象道路区間の全音源（全車両）と暗騒音に

よって時刻 t に観測点に生じる音の強さ

いま、 i 番目の車両の通過に伴って時刻 t に観測点に生じる音の強さを $q_i(t)$ 、車両に起因しない（暗騒音）音の強さを $h(t)$ とおくと、 μ_z は次式で計算できる。

$$\mu_z = 1/T \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=-\infty}^{\infty} q_i(t) + h(t) dt \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$= \sum_{t=-\infty}^{\infty} 1/T \int_t^{t_2} q_i(t) dt + 1/T \int_{t_2}^{\infty} h(t) dt \dots \dots \quad (3)$$

計算方法という視点からいえば、式(2)は全音源と暗騒音の合成波形を時間的に平均することを、一方、式(3)は個別の音源の時間平均値と暗騒音のそれを加算して、全体の平均値を求ることを意味する。本研究では、後者の考え方をとる。なお、道路を計画し設計する段階で与えられる交通条件（交通量、大型車混入率など）は1時間を単位とすることが多いので、実測時間 T を1時間にする。また、できるだけ土木技術者になじみの深い交通条件、道路条件（車線数、幅員など）によって式(3)を表現する。なお、暗騒音 $\eta(t)$ は対象道路が通過予定の地域で異なるので、現時点では、同地域で実測するか、または、類似の他地域の値から推察するしかない。

ところで、現実には無限遠の車両から発生した音が観測点に到着することはない。沿道の家屋によって遮音されるので、単独で走行する車両から発生した音が観測点で有意なレベルを示すのは比較的短い時間である。したがって観測点前を車両が通過する時間を原点にして、そ

の前後 L , R の時間だけ騒音が有意なレベルを示すとすれば、その時間だけ $q_i(t)$ を積分して求めた時間平均値の合計も、実測時間の 1 時間ほど積分して求めたそれにほぼ等しい。また、実測時間が十分長いので、その時間中に観測点前を通過する車両の台数 Q (v. p. h.) をもって、音源の全数と考えても大きな間違いではない。すなわち、

$$\sum_{t=-\infty}^{\infty} 1/T \int_{t_1}^{t_2} q_i(t) dt \doteq \sum_{t=1}^n 1/T \int_L^R q_i(t) dt \dots \dots \dots (4)$$

次に、1ワットの音響出力の仮想点音源（仮想車両）が、1つだけ k 車線の中央線上を一定の速度で移動したときに観測点に生じる音の強さの時間変動 $g_k(t)$ を考える。また、 k 車線上の乗用車類（3車種分類）の1台当たりの音響出力は次式から算出する^{1),8)}。なお、現実には式（5）の値を平均として、そのまわりに値がばらつく。そして、このことは $L_{Aeq,T}$ などの推定式の導出にも影響する。しかし著者らは予測精度の向上には騒音伝播特性に着目する方がより効果的であると判断して、式（5）を仮定した。

V_k : k 車線の車両平均速度 (km/h)

I_k : k 車線の道路縦断勾配 (%)

なお、車種を大型車類と小型車類に分類すると、これらは音響出力の大きさから、乗用車類の 16 台と 1.6 台に相当する。また、 k 車線上では $g_k(t)$ と車両走行速度は全車両同一であると仮定すれば、式(4)は次のように表現される。

$$= 1/3600 \sum_{k=1}^n W_k Q_k \{ 16A_k + 1.6(1-A_k) \} \int_L^R g_k(t) dt$$

..... (6)

Q_k : k 車線の時間交通量 (v. p. h.)

A_k : k 車線の大型車混入率

n：車線數

結局、 μ_z は次式で計算できる。

$$\mu_z = \sum_{k=1}^n W_k (16\lambda_{rk} + 1.6\lambda_{pk}) \int_L^R g_k(t) dt + \mu_h$$

$$\lambda_{rk} = Q_k A_k / 3600, \quad \lambda_{pk} = Q_k (1 - A_k) / 3600 \dots \dots \dots (7)$$

μ_z : 暗騒音の音の強さの時間平均値

以上のことから交通条件（車両平均速度，大型車混入率，時間交通量）と道路条件（車線数，道路縦断勾配）に加えて，道路周辺の騒音伝播性状と関連が深い $g_k(t)$ の積分値が，音の伝播条件として与えられれば，式(1)，(5)，(7)から等価騒音レベルを計算できることが示された。

次に、すでに報告した多入力線形系の応答に関する諸

性質を利用したコンピュータモデル⁹⁾からも、式(7)が導かれる事を示す。このモデルでは、対象観測点に生じる音の強さ $z(t)$ は次のように表わされる。

$$z(t) = \sum_{k=1}^n z_k(t) + h(t)$$

$$z_k(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) y_k(t-\lambda) d\lambda \quad (8)$$

$y_k(t)$: k 車線上の音源の音響出力の時間変化率

$z_k(t)$: $y_k(t)$ によって観測点に生じる音の強さ
なお、 $g_k(t)$ は $y_k(t)$ に対する荷重関数（履歴曲線）
であり、式(7)中の $g_k(t)$ と一致する。また、 $y_k(t)$ は次のように考える。

$$y_k(t) = W_k x_k(t) \quad (9)$$

ただし、 $x_k(t)$ は単位時間に k 車線を通過する乗用車類換算台数である。次に、 μ_z を式(8)から求める。

$$\begin{aligned} \mu_z &= 1/T \int_{t_1}^{t_2} \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) y_k(t-\lambda) d\lambda + h(t) dt \\ &= \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) \{1/T \int_{t_1}^{t_2} y_k(t-\lambda) dt\} d\lambda \\ &\quad + 1/T \int_{t_1}^{t_2} h(t) dt \\ &\doteq \sum_{k=1}^n C_k \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) d\lambda + \mu_h \end{aligned} \quad (10)$$

実測時間が 1 時間であれば、 C_k は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} C_k &= 1/T \int_{t_1}^{t_2} W_k x_k(t) dt \\ &= W_k Q_k |16 A_k + 1.6 (1-A_k)| / 3600 \\ &= W_k (16 \lambda_{rk} + 1.6 \lambda_{pk}) \end{aligned} \quad (11)$$

式(10)中 $g_k(t)$ の積分区間 $[-\infty, \infty]$ は、実質的には $[L, R]$ であるので、式(10)と式(7)は一致する。

3. 時間率騒音レベルの簡易推定法

(1) 観測点の音の強さの 2 乗平均値の推定法

対象観測点に生じる音の強さの 2 乗平均値 ψ_z^2 は次式から求まる。

$$\psi_z^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{zz}(f) df \quad (12)$$

いま、暗騒音の時間平均値 μ_h は、自動車騒音のそれに比べて十分小さいと仮定する。さらに、暗騒音は自動車騒音と無関係であるので、すでに報告した多入力線形系の応答に関する諸性質を利用したコンピュータモデルにおいては一般に次式が成立する。

$$S_{zz}(f) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n G_i * (f) G_k(f) S_{ik}(f) \quad (13)$$

$S_{zz}(f)$: 対象観測点の音の強さのパワースペクトル密度

$S_{ik}(f)$: 入力 $y_i(t)$ と $y_k(t)$ 間の相互スペクトル密度

$G_k(f)$: k 車線の荷重関数のフーリエ変換

f : 周波数 * は共役を表わす

特に、入力同士が無相関であると仮定すれば、

$$S_{zz}(f) = \sum_{k=1}^n |G_k(f)|^2 S_{kk}(f) \quad (14)$$

である。したがって、

$$\begin{aligned} \psi_z^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^n |G_k(f)|^2 S_{kk}(f) df \\ &= \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} |G_k(f)|^2 S_{kk}(f) df \\ &= \sum_{k=1}^n \psi_{zk}^2 \end{aligned} \quad (15)$$

(2) 騒音レベル中央値と 80%レンジ値の推定法

時間率騒音レベルのうちで中央値 L_{50} と 80%レンジの上下端値 L_{10} , L_{90} の推定法について述べる。いま、騒音レベルが $N(\mu, \sigma^2)$ の正規分布に従えば、次の関係がある¹⁰⁾。ただし、 $C = (\log_e 10)/10$ である。

$$L_{Aeq,T} = \mu + C \sigma^2 / 2 \quad (16)$$

また、 ψ_z^2 と μ , σ の関係を導くと次のようになる。

$$10 \log_{10}(\psi_z^2 / I_0^2) = 2\mu + 2C\sigma^2 \quad (17)$$

式(16), (17)の左辺は、前述の2.と3.(1)の方法で計算できるので、結局 μ , σ は次式から求まる。

$$\mu = 2 L_{Aeq,T} - 10 \log_{10}(\sqrt{\psi_z^2 / I_0}) \quad (18)$$

$$\sigma = \sqrt{2/C} \sqrt{10 \log_{10}(\sqrt{\psi_z^2 / I_0}) - L_{Aeq,T}} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \text{騒音レベルが正規分布に従うと仮定しているので,} \\ L_{50} = \mu, \quad L_{10} = \mu + 1.28 \sigma, \quad L_{90} = \mu - 1.28 \sigma \end{aligned} \quad (20)$$

4. 適用例

(1) 車両がポアソン到着する場合における観測点の音の強さの 2 乗平均値の推定式

いま、大型車類と小型車類が互いに独立なポアソン到着すれば、ショットノイズの理論¹¹⁾を利用して、パワースペクトル密度を次式で表現できる。

$$S_{kk}(f) = C_k^2 \delta(f) + D_k$$

$$D_k = W_k^2 (16^2 \lambda_{rk} + 1.6^2 \lambda_{pk}) \quad (21)$$

$\delta(f)$: デルタ関数

したがって、式(15)中の ψ_{zk}^2 は

$$\psi_{zk}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |G_k(f)|^2 \{C_k^2 \delta(f) + D_k\} df$$

$$= C_k^2 \left(\int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) d\lambda \right)^2 + D_k \int_{-\infty}^{\infty} g_k^2(\lambda) d\lambda$$

$$= W_k^2 (16 \lambda_{rk} + 1.6 \lambda_{pk}) \int_L^R g_k^2(\lambda) d\lambda$$

$$+ W_k^2 (16^2 \lambda_{rk} + 1.6^2 \lambda_{pk}) \int_L^R g_k^2(\lambda) d\lambda \quad (22)$$

以上のことから、対象観測点に生じる音の強さの二乗平均値 ψ_z^2 は、等価騒音レベルの場合と同様に交通条件と道路条件そして音の伝播条件として $g_k(t)$ の積分値が与えられれば計算できることが示された。

(2) 平坦部直線道路区間における推定式

いま、 $g_k(t)$ を次のように仮定する.

[L, R] : 車両から生じた音が障害物によって遮断されない時間範囲 ($L < R$), S

a , b : 伝播性状によって異なるパラメーター

d_k : k 車線の中央と観測点間の距離 (m)

v_k : k 車線の車両平均速度 (m/s)

無限遠まで解放された道路区間では、積分範囲 $[L, R]$ は $[-\infty, \infty]$ となり、 $g_k(t)$ の積分値は次のように陽表示できる¹²⁾.

$$\int_{-\infty}^{\infty} g_k(t) dt = \frac{a\sqrt{\pi}}{v_k d_k^{b-1}} \frac{\Gamma(b/2 - 1/2)}{\Gamma(b/2)} \dots \quad (24)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} g_k^2(t) dt = \frac{a^2 \sqrt{\pi}}{v_k d_k^{2b-1}} \frac{\Gamma(b-1/2)}{\Gamma(b)} \dots \quad (25)$$

ただし、 $\Gamma(x)$ はガンマ関数である。いま、 $\mu_h \neq 0$ の場合には、式 (7), (15), (22) に上式を代入して次式が得られる。

$$\mu_z \doteq A_0 \sum_{k=1}^n \frac{C_k}{v_k d_k^{b-1}}$$

$$\psi_z^2 \doteq A_0^2 \sum_{k=1}^n \left(\frac{C_k}{v_k d_k^{b-1}} \right)^2$$

$$+ \frac{a^2 \sqrt{\pi} \Gamma(b-1/2)}{\Gamma(b)} \sum_{k=1}^n \frac{D_k}{v_k d_k^{2b-1}}$$

特に、音が幾何減衰する場合には

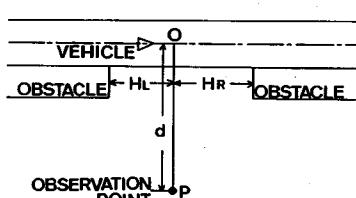


図-1 鋼測旨と遮蔽物の概略図

であるので、式(26)は次式で表わされる。

$$\mu_z \doteq 1/2 \sum_{k=1}^n \{C_k/(v_k d_k)\}$$

$$\psi_z^2 \doteq 1/4 \sum_k^n \{C_k/(v_k d_k)\}$$

$$+ 1/(8\pi) \sum_{k=1}^n \{D_k / (v_k d_k^3)\} \dots \dots \dots \quad (28)$$

しかし、現実には道路区間が無限遠まで解放されることはない。このような場合には、有限範囲 $[L, R]$ の $g_k(t)$ の積分値は適當な関数で陽表示できないので、以下に示す要領で図表化する。いま、図-1に示すように観測点と遮蔽物までの距離を H_L, H_R とすると、積分範囲 $[L, R]$ は、 $[-H_L/v, H_R/v]$ である。しかし、式(23)に示す関数は $t=0$ に関して対称であるから、 t に関して正の領域を数値積分して、式(29)に示すような A_1 と A_2 の値を計算した。図-2にその結果を示すが、これから次のことが認められる。 Z_M が小さくなるにつれて（音源と観測点間の距離 d が同じならば、遮蔽物と観測点間の距離 H_M が短くなるにつれて、一方、 H_M が同じでも d が大きくなるにつれて） A_1 と A_2 の値は小さくなり、道路長を有限として計算する必要性が増加する。また、その程度は b の値によっても若干異なる。 b は騒音の伝播性状を表わすパラメーターであるが、その値が大きくて騒音レベルの減衰が急激な道路区間では、道路長を有限として計算する必要性は減少する。

$$A_1 = \int_0^{\infty} g(t) dt / \int_{-\infty}^{\infty} g(t) dt$$

$$= \frac{\Gamma(b/2)}{\sqrt{\pi} \Gamma(b/2 - 1/2)} \int_0^{\infty} \frac{dz}{(1 + Z^2)^{b/2}}$$

$$A_2 = \int_0^{\infty} g^2(t) dt / \int_{-\infty}^{\infty} g^2(t) dt$$

$$= \frac{\Gamma(b)}{\sqrt{\pi} \Gamma(b - 1/2)} \int_0^{\infty} \frac{dz}{(1 + Z^2)^b} \dots \dots \dots \quad (29)$$

ただし、 $Z_M = H_M/d$ である。

以上のことから、平坦部直線道路区間で車両がポアソ

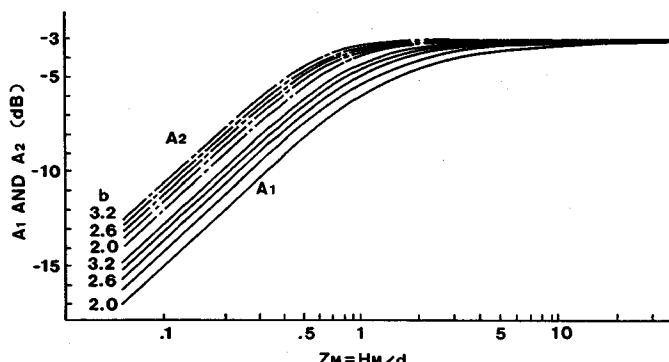


図-2 A_1 と A_2 の数値積分結果

表一 実験条件と交通特性

測定 ケース	地表面 の状況	道路縦 断勾配 (%)	時間交通量(V.P.H)		大型車混入率(%)		平均速度(km/h)	
			下り	上り	下り	上り	下り	上り
K J	6月下旬 の水田	上り方向 1.2 %	326-462 (401)	343-537 (424)	11-34 (21)	9-24 (20)	51.2	50.5
K A			325-488 (421)	277-391 (339)	12-26 (18)	18-37 (26)	51.6	51.3
H U	7月下旬 の田園	上り方向 1.9 %	220-348 (283)	268-348 (315)	22-51 (37)	30-42 (34)	46.6	48.9

注) () 内は平均値。データ数は6

表二 騒音測定位置

測定ケース	M 1	M 2	M 3	M 4
K A, K J	(10., 48)	(20., 68)	(40., 1.04)	(70., 1.18)
H U	(10., 74)	(20., 84)	(40., 1.45)	(60., 2.11)

注) () 内は(道路端からの距離、地表面からの高さ)
で単位はm

ン到着する場合においては、交通条件(時間交通量、大型車混入率、車両平均速度)、道路条件(車両数、幅員、道路縦断勾配)、音の伝播条件(ここではパラメーター a , b の値と遮蔽物までの距離)が与えられれば、等価騒音レベルや時間率騒音レベルが容易に算出できる。

本章で示した方法は、①従来の道路の計画・設計手法に接木する形で騒音問題を検討できる、② $g_k(t)$ の積分値を対象道路区間の状況に応じて関数で陽表示するか、または、図表化することにより取扱いの簡便さが確保される、③ $g_k(t)$ の積分値によって道路周辺の騒音伝播性状をモデルに反映できるので、予測精度の向上が期待できるなどの特長をもつ。さらに、この方法は、同一車線上の車両は、①すべて一定速度で走行する、②同一車種では等しいパワーレベルをもつ、③ボアソン到着する、④同じ $g_k(t)$ をもつなどの前提が、実用上成立していると判断される道路区間にはすべて適用できる。たとえば、道路線形や騒音伝播性状が複雑なところの騒音を予測する場合には、道路交通流をコンピュータでシミュレートし、騒音伝播特性を無響室内での縮尺模型実験で表現するというハイブリッドモデルが有力な手法となる³⁾。しかし、本研究で示した方法を用いれば手間が省ける。つまり、縮尺模型実験で $g_k(t)$ を求め、その積分値を一度図表化しておけば、交通条件が異なるたびにコンピュータシミュレーションを含めた実験をしなくても、容易に騒音を予測できる。ただ、無響室内の縮尺模型実験は現場と模型の相似をいかに正確にするかが大きな問題となる。そういう意味では、対象道路区間ににおける単独車両走行試験、道路交通流を入力としたランダ

表三 音の伝播条件

測定 ケース	H_L (m)	H_R (m)	a	b
K J	109	71	0.1594	2.29
K A	109	71	0.3819	2.62
H U	65	140	0.3087	2.63

表四 推定値と実測値の差の平均値と標準偏差

	M 1	M 2	M 3	M 4
L_{ave}	0.8 (1.3)	1.0 (1.0)	-0.1 (1.5)	0.1 (2.3)
A	-0.7 (2.1)	-0.7 (1.1)	-2.0 (1.1)	-1.5 (2.0)
μ	2.7 (1.1)	2.3 (1.3)	2.2 (2.1)	1.8 (2.5)
σ	-0.5 (0.7)	-0.4 (0.6)	-1.3 (0.6)	-1.4 (0.6)
L_{10}	1.0 (0.9)	0.7 (1.5)	-1.0 (1.8)	-0.6 (2.8)
L_{50}	3.9 (1.4)	3.6 (1.6)	3.0 (2.4)	2.4 (2.7)
L_{90}	2.1 (1.6)	1.4 (1.5)	4.0 (2.5)	3.3 (2.4)
L_{50*}	9.6 (1.3)	11.2 (1.4)	12.5 (2.2)	13.6 (2.9)

注) () 内は標準偏差。データ数は18。
 $A = 10 \log_{10} (\frac{P_2}{P_1})$

ムデータの統計処理手法を用いる方法など⁹⁾、より現場に近い騒音伝播特性を把握できる方法で $g_k(t)$ を設定した方が望ましいと考える。

(3) 推定値と実測値の比較

本節では、これまで提示した推定法の妥当性を、推定値と実測値を比較することによって調べる。表一に実験条件と交通特性を示す。また、騒音測定位置は表二に示す M 1-M 4 の 4 か所である。騒音は精密騒音計で測定し、その出力をデータレコーダに収録し、後日、A-D 変換器を利用して動特性 fast, サンプリング時間間隔 1.6 秒で 512 個の騒音レベルの瞬時値を求め、それ

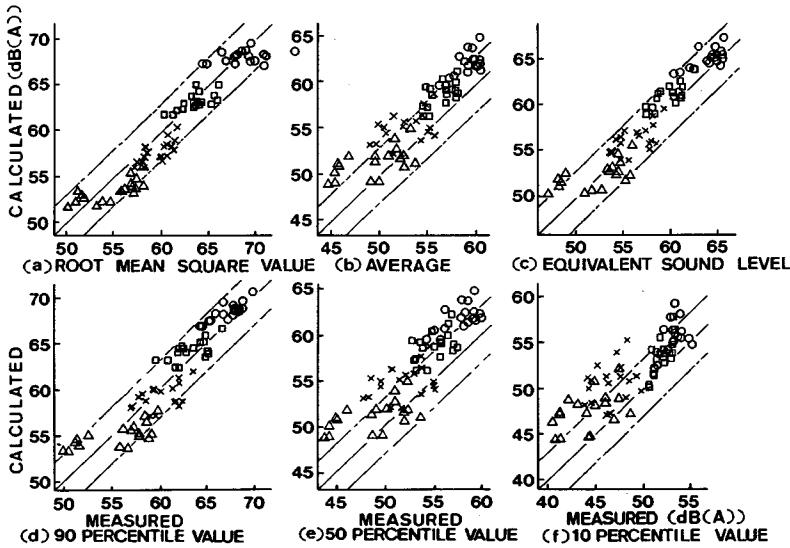


図-3 各種騒音統計量の推定値と実測値の比較

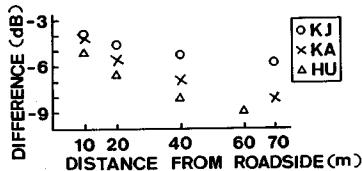
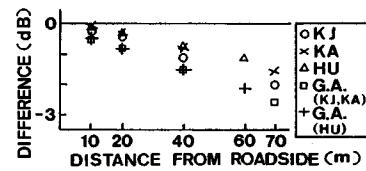


図-4 幾何減衰するときの推定値との差

から各種騒音統計量の実現値を算出した。車両走行速度は8mmカメラを用いて求め、車種はナンバープレートから日本音響学会の方法に従って2種に分類した。測定現場付近は対向2車線の国道であり、道路の線形は直線である。また、地形の局所的な起伏も少なく、測定現場付近はあたり一面平坦な田圃である。積分範囲 $[L, R]$ が有限である場合の推定式を用いて各種騒音統計量を算出した。なお、音の伝播条件は表-3に示すように、観測点から遮蔽物までの距離は (H_L, H_R) であり、パラメータ a, b の値は今回の測定と同月同日に同地点で約2年前に推定した値(文献9)の表-2を使用した。

各種騒音統計量について推定値と実測値を比較して表-4および図-3に示す。両者が一致すれば図-3中の実線上に点が集まる。なお、一点鎖線はそれから±3dBの範囲を示す。いま、表-4において、予測精度の目安を3dB(平均値)とおくと、 L_{50} と L_{90} の一部を除いて比較的精度よく予測されていることがわかる。なお、表-4には指數分布モデル¹³⁾(幾何減衰を仮定)を用いて中央値を計算した結果との比較も示す(L_{50}^*)。次に音の伝播条件のパラメーター a, b の値を用いて算定した値と、音が幾何学的に減衰すると仮定して算定した値との差の例として $L_{Aeq,T}$ の結果を図-4に示す。対象道路区

図-5 無限長道路の $L_{Aeq,T}$ の推定値との差
(G. A. は Geometrical attenuation)

間の騒音伝播性状を表現した音の伝播条件を推定式に組み込まないと、計算値よりも実測値がかなり小さくなることは避けられない。また、表-3に示す遮蔽物がある場合の有限長道路と無限長道路の $L_{Aeq,T}$ の推定値との差を図-5に示す。道路端から離れるほど、また、騒音伝播性状が幾何減衰に近いほど差が大きくなる。

(4) 騒音レベルの確率分布についての仮定

時間率騒音レベルの推定式を導くときに騒音レベルの確率分布は正規分布に従うと仮定した。しかし、交通量が少ない場合(1 000 v. p. h. 以下)、大型車混入率が高い場合、観測点が道路に近い場合には、厳密な正規分布には従わない¹⁴⁾。そこで、これらの要因によって本研究で提示した騒音簡易推定法の精度はどのように影響されるのか、モンテカルロシミュレーションで調べた。

シミュレーションの前提条件は次のとおりである。① 対象道路は無限遠まで解放された直線道路である、②車両は一定速度で走行する、③道路縦断勾配はない、④車両は点音源であり、音は幾何学的に減衰する。

以上の前提条件のもとで、できるだけ現実に近いモデルを考えた。すなわち、

- ① 交通量1 000 v. p. h. 以下を検討対象とするので、

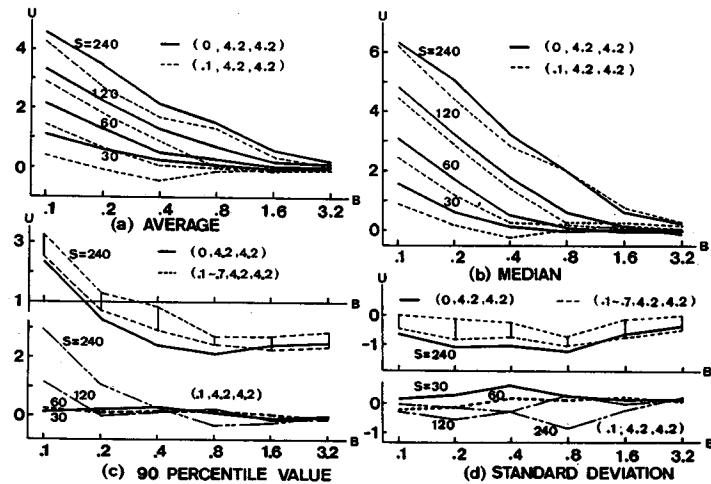


図-6 各種騒音統計量の推定精度(()内は $(A_T, \sigma_{wp}, \sigma_{wT})$ を表わす)

車頭間隔は指数分布に従うと考えた。

② 車両のパワーレベルの確率分布は $N(\mu_w, \sigma_w^2)$ の正規分布に従うと考えた¹⁵⁾.

ただし、 V と σ_v^2 は車両速度 V (km/h) の平均値と分散、 σ_p^2 は速度と無関係なパワーレベルの変動 (分散) である。なお、本研究では車を 2 車種に分類したが、車種によってパワーレベルは大幅に違うので大型車混入率 A_T を与える。

③ 観測点の騒音レベルは $2H$ (m) の区間内の車両からの合成音と考える。式(31)中 F は観測点から車線に下した垂線と車線の交点から最も近い車両までの距離である。なお、 H は乗用車類(3車種分類)が F に位置し、区間内の最も遠い位置に大型車類が位置する場合に、乗用車類のみによる観測点の騒音レベルと、乗用車類および大型車類を合わせたそれとの差が 0.5 dB 以上大きくならないような大型車類の位置である。

ただし、 $d(m)$ は音源と観測点間の最短距離である。

以上、車頭間隔は指數乱数、パワーレベルは正規乱数、車種決定は一様乱数を発生させて、1秒ごとに1024個の騒音レベルの瞬時値、さらには、等価騒音レベル、時間率騒音レベルなどの各種騒音統計量を計算した。

本研究では推定精度に影響を及ぼす要因として、①平均車頭間隔 $S = 1000 V/Q$ 、② $B = d/V$ 、③大型車混入率 A_T 、④乗用車類のパワーレベルの標準偏差 σ_{ws} 、大型車類の同標準偏差 σ_{wt} を考えた。ここで①の要因は時間交通量 (Q) に対応する。また、②の要因は、車両が単独で走行したときの騒音レベルパターンの形状を表わすものであり、 B の値が小さいほど、その形状は単純化される。

峻である。②の要因は観測点と道路間の距離に対応する。そして、実測結果に対応するものとしてモンテカルロシミュレーションで求めた各種騒音統計量を使用した。

次に、推定精度を表わす指標は次のとおりである。まず式(18), (19)中の $L_{Aeq,T}$ と ψ_z^2 は完全に予測されたものと考えてモンテカルロシミュレーションによって求めた値を使用する。その結果得られた μ , σ , さらには、式(20)を使って得られた L_{50} , L_{10} , L_{90} と、別途にモンテカルロシミュレーションによって求めたこれらの値との差を算出する。このようにすれば、その差は騒音レベルを正規分布と仮定することによって生じる影響の程度を示すことになる。ただし、 S , B , $(A_T, \sigma_{wp}, \sigma_{wT})$ の1組の値について20回のシミュレーションを繰り返してその差を計算し、その平均値として U を求めた。その結果を各種騒音統計量ごとにまとめて図-6に示す。これから、次のことがいえる。

① AVERAGE (μ) と MEDIAN (L_{50}) は類似の傾向にある。大型車混入率が種々変化しても、図中の実線と点線の間に U の値は存在する。両者の差は 1 dB 以下で小さいが、単一車種の場合 ($A_T = 0$) が最も精度が悪く、大型車が少し混入した場合 ($A_T=0.1$) が最も精度がよい傾向にある。また、一般に騒音レベルを正規分布に仮定したことによる起因して、簡易推定式から算出した値の方がモンテカルロシミュレーションの値よりも大きい。しかし、 S が小さく B が大きいほど U の値は小さくなり、精度は向上する。すなわち、車両平均速度が一定ならば、交通量が多く、観測点が道路から離れるほど、誤差は小さくなる。ちなみに、 $V=40 \text{ km/h}$ では $d=16 \text{ m}$ 以上、 $Q=333 \text{ v. p. h.}$ 以上で $U=2 \text{ dB}$ 程度である。

② 標準偏差 (σ) はすべての場合について、また、

90パーセンタイル値 (L_{10}) も $B=0.1$ を除けば、推定誤差はほぼ1dB以下である。

5. 結 言

本研究では、交通条件に関する制約が少ない、沿道状況の場所的な違いが反映可能、予測精度がよい、取り扱いが簡便などの要件を具備する騒音推定法について考察し、その基本的な考え方を示すとともに、この推定法の現実への適用性を調べた。

本研究で得られた結果を整理して以下に示す。

(1) 等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ は交通条件（車両平均速度、大型車混入率、時間交通量）、道路条件（車線数、道路縦断勾配）、音の伝播条件 ($g_k(t)$ の積分値) が与えられれば、式(1), (5), (7)から計算できる。

(2) 騒音レベル中央値などの時間率騒音レベルは上記(1)で求める $L_{Aeq,T}$ と式(15), (18)～(20)から計算できる。

(3) この推定法を国道の平坦部直線道路区間に適用した。なお、交通量は約900v.p.h.以下であった。その結果、

① 平坦部直線道路区間の場合には、上記(1)の音の伝播条件は図-2の A_i のように図化できる。この図を用いれば、道路長や沿道状況の場所的な違いが、図中の Z_m や b を通じて推定値に容易に反映できる。そして、このことが予測精度に大きな影響を及ぼすことは、音が幾何学的に減衰する、あるいは道路長が無限である、と仮定して算定した値との差を示した図-4、あるいは図-5からわかる。

② 時間率騒音レベルは音の伝播条件だけでなく、交通流の変動特性とも関連する。車両がポアソン到着すれば、式(15)の中の ϕ_{2k}^2 は式(22)のようになり、比較的簡単に時間率騒音レベルが推定できる。なお、モンテカルロシミュレーションで検討した結果によれば、騒音レベルを正規分布に仮定したことによる影響は、式(18)～(20)から算出される騒音レベル中央値は過大に推定されるが、通常の条件下ではその程度は2dB以下であり、予測精度に及ぼす影響は比較的小さいと考えられる。

③ 各種騒音統計量の推定値と実測値を比べた表-4において、予測精度の目安を3dB(平均値)とおくと L_{50} と L_{90} の一部を除いて予測精度は比較的よい。

なお、本研究では、適用例として車両がポアソン到着することを仮定し、沿道状況も平坦部について詳しく検討しているが、このほかにも、交通量が多くなったり、交通信号で車群が形成されるなどして、道路交通流が複雑な様相を呈する場合や、道路構造が盛土、切土、高架などの場合もある。しかし、本研究で示した推定法の特

徴は道路交通流の変動特性は式(14)中の $S_{kk}(f)$ で、また、騒音伝播特性は $g_k(t)$ によってモデルに反映可能なところであり、原理的にはこれらの場合についても対応可能である。今後、これらについても検討を積み重ねて、モデルの適用性を向上させていきたいと思っている。

最後に、本研究に対してご助力いただいた長崎県久保誠司氏、九州工業大学工学部 吉田 勇氏、毛利隆一氏に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) 石井聖光：道路交通騒音予測計算方法に関する研究（その1）—実用的な計算式について—、日本音響学会誌, 31-8, pp. 507～517, 1975.
- 2) 石井聖光：道路交通騒音予測計算方法に関する研究—高さ別補正値 a_i について—、日本音響学会誌, 33-8, pp. 426～430, 1977.
- 3) 池谷和夫：道路交通騒音予測計算方法に関する研究（その2）—数学的モデルと評価量について—、日本音響学会誌, 31-9, pp. 559～565, 1975.
- 4) Nelson, P. M. : A Computer Model for Determining the Temporal Distribution of Noise from Road Traffic, TRRL Report LR 611, 1973.
- 5) 河上省吾・青島縮次郎・荻野 弘・渡辺健司：夜間の長距離信号制御による騒音防止効果について、交通工学, Vol. 13, No. 4, pp. 3～10, 1978.
- 6) 渡辺義則：任意に変動する道路交通流からの騒音の予測に関する一考察、交通科学, Vol. 10, No. 2, pp. 11～19, 1981.
- 7) 日本規格協会：騒音レベル測定法 JIS Z 8731, 1983.
- 8) 金安公造・金泉 昭：交通公害、技術書院, 1976.
- 9) 渡辺義則：交通流変動と騒音伝播特性の場所的な違いを考慮した道路交通騒音の予測、土木学会論文集, 第347号/IV-1, pp. 127～134, 1984.
- 10) 日本音響学会編：騒音・振動（上）、コロナ社, 1978.
- 11) 平岡寛二・黒田義輝・篠崎寿夫 監訳：応用確率論確率過程編、東海大学出版会, 1973.
- 12) Watanabe, Y. : A Calculation Method of Noise Propagating Over Various Ground Surfaces from Random Traffic Flow, Proceedings of the 15th International Conference on Noise Control Engineering, pp. 1281～1286, 1986.
- 13) 高木興一・藤木 修・平松幸三・山本剛夫：指數分布モデルにおける L_a 、日本音響学会誌, 38-8, pp. 468～476, 1982.
- 14) Alexandre, A., Barde, J.-Ph., Lamure, C. and Langdon, F. J. : Road Traffic Noise, Applied Science Publishers LTD, London, 1975.
- 15) 渡辺好章・野田純一・姫野有三・富山佳彦・ト部泰正：自動車走行時における騒音のパワーレベル、日本音響学会誌, 32-3, pp. 156～160, 1976.

(1987.2.12・受付)