

交通流変動と騒音伝搬特性の場所的な違いを 考慮した道路交通騒音の予測

PREDICTION OF ROAD TRAFFIC NOISE CONSIDERING FLUCTUATION OF TRAFFIC FLOW AND CHARACTERISTIC OF SOUND PROPAGATION

渡 辺 義 則*・

By Yoshinori WATANABE

It is no exaggeration to say that noise pollution from road traffic occurs everywhere on trunk roads in Japan. In order to overcome this nuisance, it is inevitable to establish the precise prediction method of road traffic noise, where noise protections are inquired from a viewpoint of land use planning and traffic engineering at the step of planning and designing traffic facilities. But it is difficult for widely used method, such as environmental assesment in Japan, to satisfy properties required. Then in this paper, the following investigations are dealt with: (1) development of the noise prediction method considering fluctuation of traffic flow and local variation of sound propagation characteristics; (2) estimation and classification of propagation characteristics by a simple experimental technique.

1. 緒 言

昭和53年に実施された一般国道付近の騒音実態調査によれば¹⁾、環境基準を満足するのは調査対象の20%以下である。この事実は道路騒音公害が深刻な社会問題であることを如実に示している。道路騒音公害の克服には、自動車を改善して騒音の低減を図る音源対策の実施だけでなく、土木技術者が道路を計画、設計する段階で、対象道路の騒音発生状況を正確に予測できること、また、その結果によっては、道路構造や交通運用、交通規制、さらには土地利用といったより高次の視点からの対応策を検討できることが必要である。

しかるに、このような観点から環境アセスメントに利用されている日本音響学会式をみれば²⁾、以下に示す点に検討の余地があると考ええる。①車両を道路上に等間隔に配置することを前提にした等間隔等パワーモデルを基盤にしているので、時間交通量が1000 V. P. H. 以上の場合に適用が限定されるなど交通条件の制約が厳しい。②音の幾何学的な減衰（回折による減衰を含む）を前提にした等間隔等パワーモデルから L_{50} を導出後に、観測値と予測値の乖離を小さくするための補正值 α_i を、場

所ごとの状況の違い（たとえば、草地、裸地などの地表面の状況、反射性、吸音性などののり面の状況）によるばらつきが大きいにもかかわらず³⁾、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。

そのために、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⁴⁾などの交通運用面からの対策が検討できないうえに、場所ごとの状況の違いに応じた融通性のある予測ができない。また本来、予測精度の向上は、 L_{50} だけについて観測値と予測値の乖離を補正するという方法ではなく、予測精度を向上させる要因を騒音レベルの瞬時値（絶対値）を予測する形でモデルに組み込み、 L_{50} 以外の騒音統計量でも観測値と予測値の乖離を小さくするなど、モデルを根本的に改良することによって行われることが望ましい。そうしなければ、JIS Z 8731 が改訂され、騒音の評価量として L_{eq} が導入されるなど⁵⁾、 L_{50} 以外の騒音統計量が評価に用いられる場合には、新しく導入された騒音統計量に対する補正值を再調査する必要が生じる。

本研究では、上記の要件を改良できる騒音予測計算モデルを提示するとともに、このモデルの現実への適用性を調べたので報告する。なお、本研究では計算をすべて電子計算機で処理しているが、実用性という観点からいえば、取扱いの簡便さが日本音響学会式に近いことが要

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

求される。これは今後の検討課題である⁶⁾。

2. 騒音予測計算モデルの構造

モデルを作成するときの前提は次のとおりであり、時間交通量の多少による制約はない。①全車両は一定の速度で定常的に走行する。②車両は無指向性の点音源とする。

実際の現象としては、多数の音源（車両）が車線上を連なって移動するので、任意のある瞬間に時刻を停止してみれば、多数の音源が騒音の観測点の周辺に空間的に散在する。それゆえに、これまで提案されている予測計算モデルの考え方に立脚すれば、各時刻ごとに各音源と観測点の相対的な位置関係を決定して、それから各時刻ごとの観測点の騒音レベルの瞬時値を予測することになる。

しかし、本研究で提示する予測計算モデルでは、この計算を次のように考える。いま、1ワットの音響出力の仮想音源（仮想車両）が、1つだけ車線の中央線上を一定の速度 v で、図-1(a)のB方向に移動すれば、音源の移動に応じて観測点Pの音の強さは変動する。この変動曲線を、車線に沿った距離 u を媒介変数として、図-1(b)のように仮定する。仮想音源の移動速度は一定であるので、この変動曲線は図-1(c)に示すように、

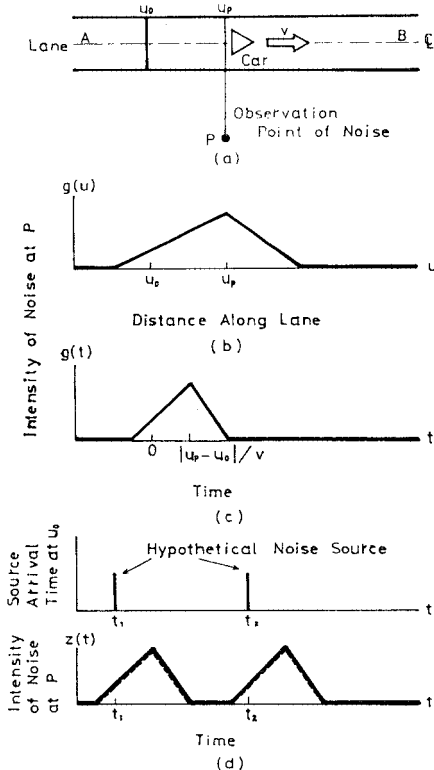


図-1 モデル説明図

仮想音源が u_0 を通過する時点を中心にして、時間を媒介変数とした曲線に変換できる。そして、この曲線を用いれば仮想音源が複数であっても、仮想音源が u_0 を通過する時刻さえ与えられれば、観測点の音の強さの時間変動を算出できる（図-1(d)）。なお、車両の走行方向が異なる対向2車線の道路を対象とする場合には、図-2のように考えればよい。

つまり本モデルにおいては、実際の現象とは異なるが、音源は道路上に適当に設定された点（たとえば図-1の u_0 、図-2の u_1, u_2 ）にだけ時系列的に出現し、かつ、音源の出現に対応して適当な履歴曲線（荷重関数）を仮想する。図-1の $g(t)$ 、図-2の $g_1(t), g_2(t)$ がこの履歴曲線に相当する。次に線形系の応答に関する諸性質を利用して、これらのことを定式化する^{7),8)}。いま、対象道路の車線数を n 、 k 車線上の音源の音響出力の時間変化率（算出方法は3.(2)に例示、 W/s)を $y_k(t)$ 、 k 車線の履歴曲線（荷重関数、 m^{-2})を $g_k(t)$ 、 k 車線上の音源によって観測点に生じる音の強さ (W/m^2)を $z_k(t)$ とすれば、 $z_k(t)$ は次式で表わされる。

$$z_k(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) y_k(t-\lambda) d\lambda \quad (k=1, 2, \dots, n) \dots (1)$$

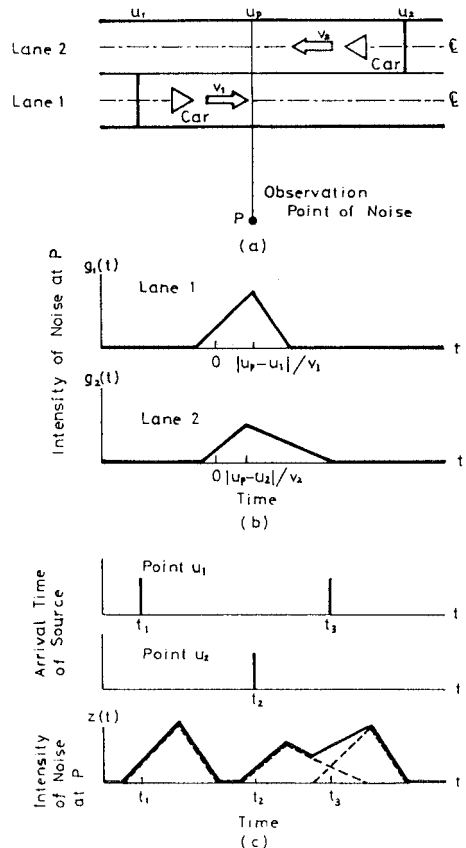


図-2 対向2車線の場合のモデル説明図

したがって、自動車に起因しない騒音（暗騒音， W/m^2 ）を $h(t)$ とすれば、対象道路区間の全音源（全車輛）と暗騒音によって観測点に生じる音の強さ $z(t)$ は

$$z(t) = \sum_{k=1}^n z_k(t) + h(t) \dots\dots\dots (2)$$

である。

また、 $y_k(t)$ は次のように考える^{2),9)}。

$$\left. \begin{aligned} y_k(t) &= W_k x_k(t) \\ W_k &= 10^{-12} \times 10^{0.2V_k + 85 + \frac{1}{2} i_k / 10} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

W_k : k 車線上の乗用車類（3車種分類²⁾）1台当たりの音響出力， $W/台$

V_k : k 車線上の車両速度， km/h

i_k : k 車線の道路縦断勾配，%

$x_k(t)$: 単位時間あたりに k 車線を通過する換算車両台数， $台/s$

ここで $x_k(t)$ は音響出力の大きさから、3車種分類の場合には大型車類は16台、小型貨物車類は3.2台の乗用車類に、同じく、2車種分類の場合には大型車類は16台、小型車類は1.6台の乗用車類に換算されて算出される。なお、本モデルを現実の問題に適用するときには、図-1の v 、図-2の v_1 、 v_2 、式(3)の V_k として、その車線を走行している車両の平均速度を用いる。

次に $z(t)$ 、 $z_k(t)$ 、 $g_k(t)$ 、 $x_k(t)$ 、 $h(t)$ のフーリエ変換を $Z(f)$ 、 $Z_k(f)$ 、 $G_k(f)$ 、 $X_k(f)$ 、 $H(f)$ とすると、式(1)~(3)より次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} Z(f) &= \sum_{k=1}^n Z_k(f) + H(f) \\ Z_k(f) &= W_k X_k(f) G_k(f) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

f : 周波数， H_z

上式の関係を利用して $Z(f)$ を算出した後に、これを逆フーリエ変換すれば、対象道路区間の全音源と暗騒音によって観測点に生じる音の強さの時間変動 $z(t)$ が算出され、さらには、騒音レベルの瞬時値が求まる。したがって、 L_{eq} 、 L_{s0} をはじめとする各種統計量は、この瞬時値をもとに算出できる。

以上は音源と観測点間の音の伝搬特性を表現する関数 $g_k(t)$ が既知の場合に、観測点の騒音レベルの瞬時値を予測する方法である。しかし、音が幾何学的に減衰する場合を除いては、この関数をあらかじめ与えることができない。そこで、以下に示す方法で現場実験で求める。いま、 $z(t)$ 、 $y_k(t)$ 、 $h(t)$ からあらかじめ平均値を除去したものを考えると、式(2)は

$$\zeta(t) = \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) \eta_k(t-\lambda) d\lambda + \gamma(t) \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここに

$$\zeta(t) = z(t) - E[z(t)], \quad \eta_k(t) = y_k(t) - E[y_k(t)]$$

$$\gamma(t) = h(t) - E[h(t)]$$

である。 $\zeta(t)$ を定常不規則過程と仮定すれば、 $\zeta(t)$ と $\eta_k(t)$ 間の共分散関数は

$$C_{\zeta\tau}(\tau) = \sum_{j=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_j(\lambda) C_{\eta_j}(\tau-\lambda) d\lambda + C_{\kappa\gamma}(\tau) \dots\dots\dots (6)$$

となる。ここに

$$C_{\zeta\tau}(\tau) = E[\eta_k(t)\zeta(t+\tau)], \quad C_{\eta_j}(\tau) = E[\eta_k(t)\eta_j(t+\tau)]$$

$$C_{\kappa\gamma}(\tau) = E[\eta_k(t)\gamma(t+\tau)]$$

である。特に、 $\eta_k(t)$ と $\gamma(t)$ を独立と仮定すれば

$$C_{\kappa\gamma}(\tau) = 0 \dots\dots\dots (7)$$

である。定常不規則過程のスペクトル密度関数 $S_{\zeta\tau}(f)$ は共分散関数 $C_{\zeta\tau}(\tau)$ のフーリエ変換で与えられるので、式(6)、(7)から次式が得られる。

$$S_{\zeta\tau}(f) = \sum_{j=1}^n G_j(f) S_{\eta_j}(f) \quad (-\infty < f < \infty) \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

$$G_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i2\pi f\tau} g_j(\tau) d\tau,$$

$$S_{\eta_j}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i2\pi f\tau} C_{\eta_j}(\tau) d\tau$$

である。したがって、周波数領域における荷重関数 $G_j(f)$ は、 $\zeta(t)$ と $\eta_k(t)$ 間のスペクトル密度関数 $S_{\zeta\tau}(f)$ と、 $\eta_k(t)$ と $\eta_j(t)$ 間のそれ $S_{\eta_j}(f)$ を求め、 $G_j(f)$ を未知関数とする連立方程式(8)を解けば求まる。次に、この $G_j(f)$ を逆フーリエ変換すれば時間領域における荷重関数 $g_j(t)$ が求まる。ただし、この荷重関数は $z(t)$ 、 $y_k(t)$ 、 $h(t)$ の各平均値を差し引いたものだけ補正する必要がある。

3. 実際の交通への適用

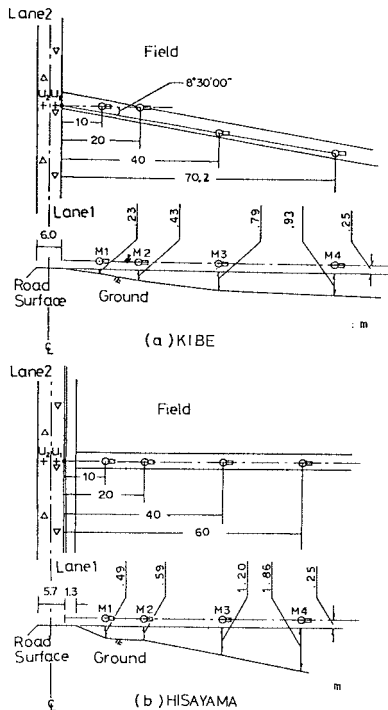
(1) 測定の概要

道路構造としては平坦、盛土、切土、高架があり、原理的にはいずれの道路構造にも本モデルを適用できるが、他の道路構造に比べて手軽に測定できるという理由で、本報告では平坦部道路区間を対象とした。表-1に実験条件と測定時の交通特性を、図-3に騒音測定位置を示す。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、測定点側には構造物はなく、一方、その反対側には構造物はあるが道路から十分離れている。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。表-1に示すように、季節により異なった伝搬特性を有することを想定して、同一の道路区間で測定時期をずらした。図-3のM1~M4は精密騒音計のマイクロホン設定位置（騒音の観測点）である。高さはアスファルト道路表面から25cmの所にした。なお、図-3には取付け道路表面からマイクロホンまでの高さを示しており、稲の上端からマイクロホンまでの高さは、M1~M4の各観測点ともに次の範囲にある。

表一 実験条件と交通特性

測定ケース	地表面の状況	測定場所	縦断勾配	時間交通量 (V.P.H)		大型車混入率 (%)		平均速度 (km/h)	
				Lane 1	Lane 2	Lane 1	Lane 2	Lane 1	Lane 2
KJ	6月下旬の水田, 苗 8 cm	金 辺 町	Lane 2 上り 1.2 %	299~682 (400)	203~566 (354)	8~35 (22)	2~38 (20)	53.9	51.8
KA	8月初旬の田圃, 稲 60 cm			284~453 (374)	306~362 (335)	20~38 (27)	23~36 (28)	53.9	51.8
KN	11月初旬の田圃, 刈入れ後			291~475 (382)	299~489 (396)	9~42 (22)	10~27 (21)	48.7	46.3
HU	8月下旬の田圃, 稲 80 cm	久 山 町	Lane 1 上り 1.9 %	264~359 (311)	214~345 (294)	33~58 (44)	35~62 (47)	50.7	48.7

注) ()内は12個のデータの平均値, 1024秒間測定したデータより換算



図一3 騒音測定位置 (測定ケース KJ で M4 は 80 m)

測定ケース KA : 主道路に向かって右側の田圃 53~68 cm
 同左 100~131 cm
 測定ケース HU : 同右 126~177 cm
 同左 13~48 cm

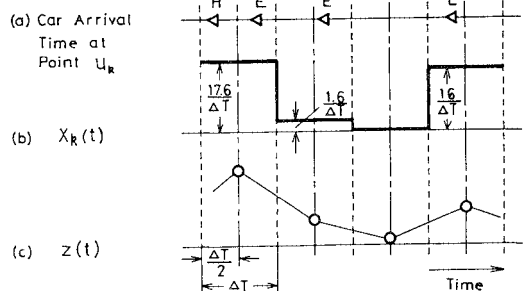
稲の上端からマイクロホンまでの高さは, 取付け道路で隔たった左右の田圃間では, 測定ケース KA で 50~60 cm, HU で 110~130 cm 異なり, 同じく各観測点間では, 測定ケース KA で 15~31 cm, HU で 35~51 cm 異なる。また, 本報告では観測点に近い車線を Lane 1, 遠い車線を Lane 2 とする。騒音は図一3の M1~M4 で精密騒音計で測定し, その出力をデータレコーダに収録し, 後日, A-D 変換器を利用して動特性 fast, サンプルング時間間隔 $\Delta T=2$ 秒で騒音レベルの瞬時値を求めた。

車両走行速度は 8 mm 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²⁾に従って 2 種に分類した。また, 本報告では車両の最後尾が図一3に示す地点 u_1, u_2 を通過する時刻をもって車両出現時刻と考えた。なお, 車両出現時刻と騒音波形との対応は, データレコーダに騒音だけでなく車両通過に同期した電気信号を収録して行った。

(2) 対象道路区間の音の伝搬特性の推定

両車線上を走行する車両の音響出力の時間変化率を入力, 観測点の音の強さを出力とする 2 入力 1 出力の線形系を考えて, 交通特性 (車両出現時刻, 車種, 車両平均速度) ならびに騒音の同時測定データから対象道路区間の車両と観測点間の音の伝搬特性 (すなわち荷重関数) を推定した。なお, 前述のように測定現場付近の線形は直線で, 道路付近に騒音の伝搬に影響を及ぼすような構造物はなく, 地形の局所的な起伏も少なく, 同一測定ケースであれば道路周辺の地表面の状況はほぼ同じであるので, ここでは荷重関数は図一3の u_1 と u_2 を結んだ線に関して対称であると考えた。

2. に提示した基本式に従って荷重関数を推定する手順の概要をまとめると次のようになる。① サンプルング時間間隔 ΔT を 2 秒, データ長 $N\Delta T$ を 1024 秒, 共分散関数を算定するときの最大遅れ時間 L を 60 秒とした^{10), 11)}。図一4(a) は図一3の k 車線上の地点 u_k に車両



図一4 $X_k(t)$ と $z(t)$ の算出方法 (H: 大型車種, E: 小型車種)

が出現する時刻と車種を表わすが、これから k 車線について図-4(b) に示す単位時間当たりの乗用車類換算車両台数 $x_k(t)$ を算出し、さらに、式 (3) から入力としての音響出力の時間変化率 $y_k(t)$ を求める。なお、本報告で対象とする道路は対向2車線であるので、 $y_1(t)$ と $y_2(t)$ の2つの入力を考える。一方、図-4(c) に示すように騒音レベルから、出力としての観測点の音の強さ $z(t)$ を求める。②各データの直流分を除去し、共分散関数を算定する。共分散関数をフーリエ変換して、生のスペクトル密度関数を算定した (Blackman—Tukey 形の方法⁸⁾) 後に、これをハンギングのウィンドウで平滑化し、これを用いて周波数応答関数を求める。③入出力の直流分の除去に対する補正を考慮して逆フーリエ変換し、時間領域における荷重関数を求める。

時間領域における荷重関数の推定結果をまとめて図-5 に示す。図-5 は表-1 に示した各測定ケースについて、観測点別 (M1~M4)、車線別 (Lane 1, 2) に6個の実験ケース (データ長は1ケースにつき1024秒) の荷重関数を推定した後に、各時間に関する平均値を算出して図示したものである。なお、荷重関数は時間 $t=0$ に関して対称であると仮定しているため、正の時間領域についての結果のみを示してある。また、本研究での荷重関数の物理的な意味は「1ワットの音響出力の仮想音源が、1つだけ各車線の中央線上を一定の速度 (現実には各車線の車両平均速度) で移動したときに、観測

点に生じる音の強さの時間変化と等価なもの」であり、本来は荷重関数が負の値をとることは不合理であるので、ここでは時間 $t=0$ から平均値が正の値をとる時間範囲内のものについてだけ図示した。

図-5 では荷重関数を時間を媒介変数にして表現しているが、本研究での荷重関数の物理的な意味からすれば、この荷重関数は式 (9) によって仮想音源と観測点間の距離 r を媒介変数とする関数に変換できる。

$$r^2 = l_k^2 + (\bar{v}_k t)^2 \dots\dots\dots (9)$$

l_k : k 車線の中央から観測点までの距離, m

\bar{v}_k : k 車線の車両平均速度, m/s

t : 時間, s

逆にこのことは、荷重関数推定時とは交通性状が変化して車両平均速度が異なっても、その速度に対応した時間領域の荷重関数が設定可能であることを示している。

なお、以上の結果は、平坦な道路構造で、地表面が、水田、生長した稲で密に覆われた田圃、稲刈後の田圃である道路区間を対象にして得たものであるが、道路構造および場所ごとの状況が異なっても、観測点別、車線別の時間領域の荷重関数という形で、その道路区間の音の伝搬特性を把握可能であることは、本モデルの構造から推察される。

次に、図-5 のように観測点別、車線別に荷重関数を対応させずに、これらを統合したより簡単な関数で対象道路区間の音の伝搬特性を表現することを試みた。

いま、周辺に構造物が全く存在しない平坦部道路区間においては、 k 車線に対応する荷重関数 $g_k(t)$ が次式で表現できるものと仮定する。

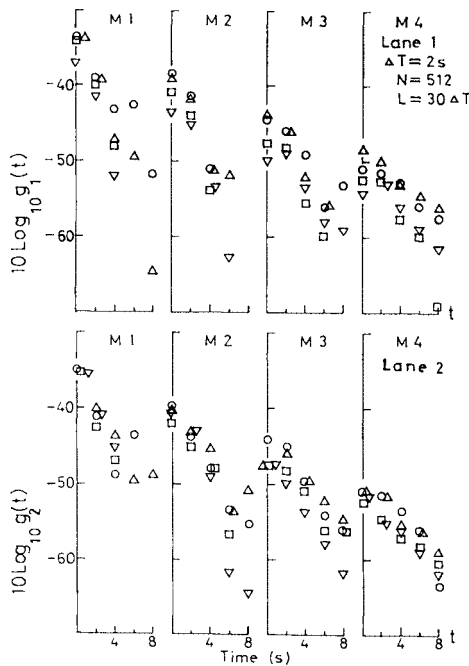
$$g_k(t) = a |l_k^2 + \bar{v}_k t|^2 \cdot b^{1/2} \quad (-\infty < t < \infty) \dots\dots (10)$$

a, b : 道路区間の音の伝搬性状によって異なるパラメーターで、特に幾何減衰の場合には $a = \frac{1}{2\pi}, b = 2$

本研究での荷重関数の物理的な意味から式 (10) を $g(r) = ar^{-b} \dots\dots (11)$

と考えれば、観測点別、車線別に表現していた荷重関数を統合して表現可能である。

そこで図-5 の平均値のうちで、推定値が負になる実験ケースを含まないものについて回帰分析した結果を図-6、表-2 に示す。図中の実線は回帰直線式であるが、その相関係数は 0.96~0.99 と高く、仮定した関数型が妥当であり、同時にパラメーター a, b によって平坦部道路区間の音の伝搬特性が表現できる可能性があることが示唆された。また、これまで^{10), 11)} 車線別に表現していた荷重関数を統合するために、道路縦断勾配に起因するパワーレベルの変化に関する既往の報告⁹⁾ をもとに、式 (3) にこれに関連した新たな項 $(1/3 i_k)$ を設けた。したがって、図-6 および表-2 に示す直線は道路縦断勾配



(平均値, △: KJ, □: KA, ○: KN, ▽: HU)

図-5 荷重関数の推定結果

表-2 荷重関数の回帰式

測定ケース	回帰式 ($G=10 \log_{10} a - 10 b \log_{10} r$)	相関係数
KJ	$G = -8.0 - 22.9 \log r$	0.98
KA	$G = -4.2 - 26.2 \log r$	0.98
KN	$G = -9.0 - 21.9 \log r$	0.99
HU	$G = -5.1 - 26.3 \log r$	0.96
幾何減衰	$G = -8.0 - 20 \log r$	—

表-3 回帰係数の差に関する統計的仮説検定

仮説	回帰係数	(a) 定数項	(b) $\log r$ の係数項
① KA と HU		$ Z = 1.38 < t_{0.1}(50) = 1.68$	$ Z = 0.32 < t_{0.5}(50) = 0.68$
② KJ と KN		$ Z = 2.02 \leq t_{0.05}(41) = 2.02$	$ Z = 3.75 > t_{0.01}(41) = 3.54$
③ KJ と KA		$ Z = 6.72 > t_{0.001}(45) = 3.52$	$ Z = 9.79 > t_{0.001}(45) = 3.52$

注) ① (a) の帰無仮説：測定ケース KA と HU の定数項に差はない。
|Z| は検定に使用した統計量の実現値。 $t_{\alpha}(m)$ は t 分布表において自由度 m, 有意水準 α に対応する値 (両側検定)。

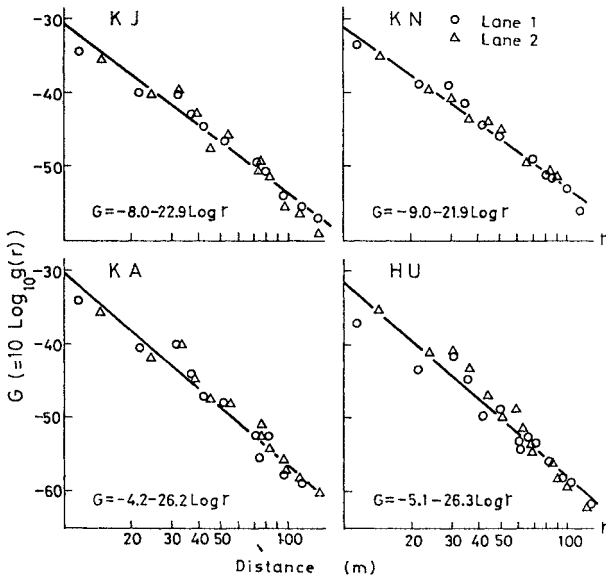


図-6 荷重関数の距離減衰特性

のない水平路での音の伝搬特性を表わす。次に、各測定ケースの回帰係数に差があるか否かについて統計的に検定した結果を表-3 に示す。苗は植えてあるが表面の大部分が水で覆われた水田である測定ケース KJ と、稲を刈入れた後の田圃である測定ケース KN の回帰係数はかなり近い値を示すが、回帰式中の $\log r$ の係数項には統計的に有意な差があると判断され、水田は刈入れ後の田圃より音の減衰が大きいと考えられる。さらに、地表面が生長した稲で密に覆われた田圃である測定ケース KA と測定ケース KJ の回帰係数には統計的に有意な差があり、密に生長した稲の影響が現われて測定ケース KA の方が音の減衰が大きい。以上の結果から、稲が密に生長した田圃、水田、刈入れ後の田圃の間には、程度は異なるが音の伝搬特性に差があると判断される。また、測定ケース KA と HU は異なった道路区間における結果であるが、両者の回帰係数には統計的に有意な差はない。これは両道路区間ともに地表面が生長した稲で密に覆われていて、地表面の状況が類似しているためであると考えられる。なお、本報告では取付け道路を隔てた左右の田圃間、観測点間で、稲の上端からマイクロホンまでの高さに多少の違いがあっても、パラメーター a, b に有意な差は現われなかったが、この距離の違いがパラメーターに及ぼす影響については、今後の検討課題である。

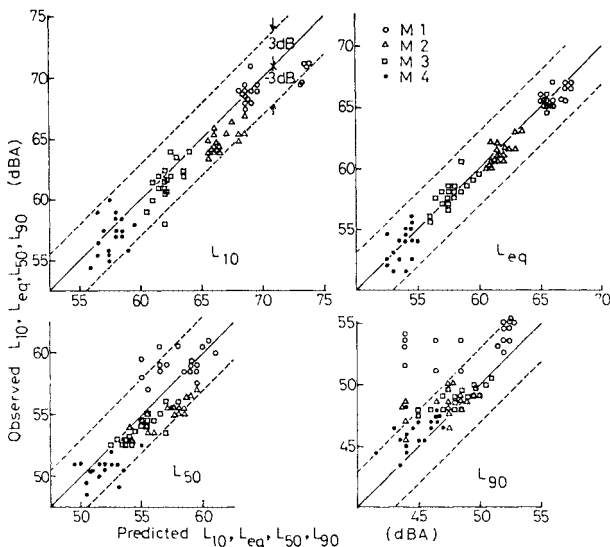


図-7 観測値と予測値の比較 (L_{90} のみ暗騒音を考慮)

次に、推定したパラメーター a, b を用いて、式 (10) に相当する観測点別、車線別の時間領域の荷重関数を作成した。なお、対象道路区間の観測点付近は道路に沿って図-3の地点 u_1, u_2 の両側約 150 m 以内には大きな構造物が存在しないが、それ以遠には家屋が立ち並び、自動車に起因する騒音が遮音される。このことと測定時の車両平均速度が約 50 km/h (表-1 参照) であることを考え合わせて、 $|t| > 10$ 秒の時間領域での荷

表—4 観測値と予測値の差 (暗騒音無視)

項目		観測点				備 考
		M 1	M 2	M 3	M 4	
L_{10}	\bar{x}	-0.7	-1.6	-0.4	-0.5	\bar{x} と S_x^2 は観測値と予測値の差 (x_i) の平均値とその不偏分散を表わし、 $\bar{x} = \sum_{i=1}^{18} x_i / 18$ $S_x^2 = \sum_{i=1}^{18} (x_i - \bar{x})^2 / 17$ (a) 特に、瞬時値の場合には時間 $j \cdot \Delta T$ の観測値と予測値の差 (x_{ij}) から、平均値として、 $x_i = \sum_{j=1}^{507} (x_{ij} - \sum_{j=1}^{507} x_{ij} / 507)^2 / 506$ 標準偏差として、 $s_i = \sum_{j=1}^{507} (x_{ij} / 507)^2 / 506$ を求め、式 (a) から表の諸値を算出
	S_x	1.6	0.9	0.9	1.5	
L_{eq}	\bar{x}	-0.3	-0.7	0.1	-0.1	
	S_x	0.8	0.6	0.7	1.3	
L_{50}	\bar{x}	1.0	-2.1	-1.2	-1.2	
	S_x	1.8	1.0	0.8	1.3	
L_{90}	\bar{x}	24.5	19.3	8.8	7.4	
	S_x	14.6	13.9	9.0	9.1	
瞬時値	平均値	\bar{x}	5.3	2.7	2.1	1.7
	標準偏差	S_x	2.7	2.0	1.3	1.6
		\bar{x}	12.2	11.1	8.7	8.1
		S_x	2.4	2.1	2.1	2.1

重関数の値は零とした。このようにして設定した荷重関数の値と各実験ケースの荷重関数の推定値とは、かなり異なる部分も生じるので、ここでは逆に、本節で設定した荷重関数を用いて騒音の予測計算を行い、騒音観測結果と比較して図一七、表—4 に示す。

表—4 の結果から、 L_{10} 、 L_{eq} 、 L_{50} は比較的精度よく予測可能であり、このような方法によって荷重関数を設定すれば、比較的説明力のある予測計算モデルが作成できることがわかるが、 L_{90} および瞬時値の予測精度は悪いことが認められる。その原因は自動車に起因しない騒音 (暗騒音) を無視しているからである。すなわち、前述のように荷重関数を仮定すれば、交通量が少ないと、たとえ短時間であっても騒音予測計算値は零となり、現実と非常に異なる現象が生じることがある。対象道路区間の暗騒音を考慮して L_{90} または瞬時値を予測する方法は今後に残された検討課題であるが、いま、各測定ケース別、各観測点 (M 1~M 4) 別に、実測された騒音レベルの瞬時値の最低値を求め、それをそれぞれの暗騒音レベルと考えると、 L_{10} 、 L_{eq} 、 L_{50} の観測値と予測値の差は表—4 とほとんど差違がない結果が得られるが、 L_{90} および瞬時値のそれは表—5 のようになり、予測精度がかなり向上することが認められる。

4. 結 言

道路騒音公害に対処するためには、①時間交通量に対

表—5 観測値と予測値の差 (暗騒音考慮)

項目		観測点				
		M 1	M 2	M 3	M 4	
L_{90}	\bar{x}	3.9	1.2	0.8	1.4	
	S_x	3.3	1.7	1.2	1.2	
瞬時値	平均値	\bar{x}	0.5	-1.6	-0.8	-0.7
	標準偏差	S_x	1.3	0.6	0.6	1.0
		\bar{x}	4.3	3.9	3.2	3.5
		S_x	1.0	0.6	0.4	0.4

しての適用範囲が広く、交通信号などで影響を受けて複雑な挙動を示す道路交通流から発生する騒音も予測可能である。②道路構造はもとより場所ごとの状況の違い (地表面や法面の状況など) があっても、その道路区間の音の伝搬特性を的確に把握してモデルに組み込めて、予測精度もよい、などの要件を具備する騒音予測計算モデルの開発が望まれる。本研究ではそのようなモデルへ至るための試みとして、線形系の応答に関する諸性質を利用して定式化したモデルを提示した。本モデルでは対象道路区間の音の伝搬特性を荷重関数 (履歴曲線) としてモデルに組み込んでいるので、原理的には、ランダムデータの統計的处理手法を援用して、普段の交通を阻害せずに、随意的の時期に、随意的の道路区間の音の伝搬特性 (荷重関数) を推定可能である。したがって、原理的には、平坦、盛土、切土、高架のいずれの道路構造にも本モデルを適用できるが、本報告では他の道路構造に比べて手軽に測定できるという理由で、平坦部道路区間を対象にして、本モデルの現実への適用性を調べた。

平坦部道路区間における調査で得た結果を以下に示す。①本研究で提示した騒音予測計算モデルを用いて、地表面が、水田、生長した稲で密に覆われた田圃、稲刈後の田圃と種々異なる平坦部道路区間の音の伝搬特性を、地表面の状況別、観測点別、車線別に時間領域の荷重関数という形で推定できた。②特に平坦部道路区間においては、荷重関数は仮想音源と観測点間の距離 r 、道路区間の音の伝搬特性によって異なるパラメーター a 、 b によって、 $g(r) = ar^{-b}$ の関数型で比較的精度よく表わすことができる。③パラメーター a 、 b の値を用いて、時間領域の荷重関数を観測点別、車線別に作成してモデルに組み込めば、 L_{10} 、 L_{eq} 、 L_{50} を比較的よい精度で予測できる。

なお、道路構造および場所ごとの状況が本報告のものとは異なっても、①と同様な推定が可能であることは、本モデルの構造から推察できる。また、②の結果より、

少なくとも平坦道路区間においては、地表面の状況別、観測点別、車線別に荷重関数を対応させなくても、これらを統合したより簡単な関数で、対象道路区間の音の伝搬特性を表現可能なことが示された。同時に②の結果は、音の伝搬特性を荷重関数という形で実測によって求めれば、異なる地表面の状況、あるいは、類似した地表面の状況をもつ道路区間における音の伝搬特性が、パラメーター a 、 b によって類似化できる可能性があることを示唆している。

今後、本手法を利用して現場実験を繰り返し、パラメーター a 、 b と地表面の状況に関するデータを蓄積すること、無響室で現場の縮尺模型を作成して、稲の生長や密集の程度、稲の上端とマイクロホン間の距離、地形の局所的な起伏などがパラメーター a 、 b に及ぼす影響を明確にすること、平坦以外の道路構造についても関数型を設定することなどを通じて、道路区間の音の伝搬特性の類型化を進める必要があるが、道路区間の音の伝搬特性が類型化でき、かつ、その関数表現が可能であれば、一度、この関数を整備しておけば、実測という手順を踏まずに荷重関数が決定できる方法が得られることになり、道路を計画、設計するうえで有用であると思われる。

最後に、本研究に対してご指導、ご援助をいただいた東京大学工学部 松本嘉司教授、九州大学工学部 角 知憲助教授、九州工業大学工学部 佐々木昭土助教授、今田哲弘氏に深甚の謝意を表明いたします。

また、本研究は財団法人鹿島学術振興財団の研究助成を受けたことを付記し、研究遂行の機会を与えられたこ

とを感謝します。

参 考 文 献

- 1) 金安公造・金泉 昭：道路交通騒音の予測計算方法に関する研究，土木研究所報告，第156号，pp.1～56，1981.
- 2) 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.
- 3) Nelson, P. M. : A Computer Model for Determining the Temporal Distribution of Noise from Road Traffic, TRRL Report LR 611, 1973.
- 4) 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.
- 5) 五十嵐寿一：新 JIS Z 8731 の概要について，日本音響学会騒音研究会資料，N 8206，1982.
- 6) 渡辺義則・毛利隆一：等価騒音レベルの簡易推定法に関する一考察，土木学会西部支部研究発表会講演集，pp.390～391，1983.
- 7) Bendat, J. S. and Piersol, A. G. : Random Data Analysis and Measurement Procedures, John Wiley & Sons Inc., 1971.
- 8) 赤池弘次・中川東一郎：ダイナミックシステムの統計的解析と制御，サイエンス社，1977.
- 9) 金安公造・金泉 昭：交通公害，技術書院，1976.
- 10) 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.
- 11) 渡辺義則・村田真斎：任意に変動する道路交通流を用いたの騒音伝搬特性の推定法，交通工学，Vol.17, No.7, pp.4～12，1982.

(1983. 8. 31・受付)