

九州工業大学 正会員 渡辺義則
日本道路公団 正会員 藤岡良雄

1. まえがき 道路交通騒音の予測には等間隔モデルなどの数学的モデルがよく利用されるが、次のような検討の余地が残されている。①対象道路の車頭間隔が特定の確率分布に従う必要があり、交通信号の影響を受ける時や車群を構成して走行する時の道路交通流には適用できない。必然的に、交通信号を系統的に制衡して騒音減少をはかるなどの交通運用の方面からの対策を机上で検討できない。②対象道路区間内の音源と受音点間の音の伝搬特性を正確に推定してモデルに組込んでいない。伝搬特性は道路構造や道路周辺の環境で変化するが、これを正確に把握できるか否かは予測精度に重大な影響を及ぼす。交通を妨げずに、騒音の時期に、騒音の道路区間の伝搬特性を把握可能にし、併せて、その結果をモデルに直接反映できる計算手法の開発が望まれる。ここでは以上の要件を具備する予測計算モデルを確立するために、②について若干の検討を行ったので報告する。

2. 伝搬特性推定方法 前提条件：①対象道路の線形及び構造条件は受音点から車線の中央線に下した直線に関して対称②車線は車線変更、追い越しをせず、一定の速度で定常走行③縦断勾配は無視可能④車線は点音源と仮定。この方法は線形系の応答に関する諸性質を利用したもので、基本的な考え方は既に報告した²⁾。ここでは推定精度の検討で利用する車線数が1の場合の推定方法を示す。1入力1出力定係数線形系では式①が成立する。 $y(t)$ は入力、 t は時間、 $z(t)$ は出力、 $g(t)$ は $y(t)$ に対する荷重関数、 $n(t)$ は $y(t)$ とは独立な雑音。いま、 $z(t)$ を車線の中央線上を移動する多数の音源によって時間 t に受音点に生じる音の強さに、 $y(t)$ を音源の音響出力の時間変化率に対応させる(式②)。式②で W は乗用車1台当りの音響出力($Watt/台$)、 V は車輛平均速度(km/h)、 $x(t)$ は乗用車へ換算したときの単位時間当りの車輛台数(台/秒)。なお、音が幾何学的に減衰する場合には荷重関数は式③で表わされる。 d は音源と受音点の最短距離。いま、入力 $y(t)$ を定常不規則過程、システムを定係数線形系と仮定すれば、その出力 $z(t)$ も定常不規則過程に属する。このような場合には周波数領域における荷重関数 $G(f)$ は入出力のスペクトル密度関数 $S_{yz}(f)$ と入力のそれ $S_{yy}(f)$ から式④を用いて得られる。次に、 $G(f)$ を逆フーリエ変換すれば時間領域における荷重関数 $g(t)$ が求まる。

$$z(t) = \int_0^t g(\lambda) y(t-\lambda) d\lambda + n(t) \quad \dots ① \quad y(t) = W \cdot x(t) = 10^{-12} \times 10^{(0.2V+85)/10} \times x(t) \quad \dots ②$$

$$h(t) = 1/[2\pi d^2 \{1 + (Vt/(3.6d))^2\}] \quad \dots ③ \quad G(f) = S_{yz}(f)/S_{yy}(f), \quad g(t) = \int_0^\infty e^{i2\pi ft} G(f) df \quad \dots ④$$

3. 推定精度の検討 以上の基本式をもとに荷重関数を推定するのであるが、そこでは現実の状況を理想化している。従って、これらの理想化によって荷重関数の推定精度がどのように変化するかをモンテカルロ法を利用したシミュレーションによって検討する。つまり、シミュレーションで用いた交通特性(車頭間隔、車線止)から $x(t)$ 更には $y(t)$ を算出し、シミュレーションによる騒音レベルの計算結果から $z(t)$ を求めて、荷重関数 $g(t)$ を推定する。一方、シミュレーションにおいては音が幾何学的に減衰すると仮定して騒音レベルを計算しているので、前述のようにしておいた荷重関数の推定値の精度を検定できる。

3.1 モンテカルロ法によるシミュレーション Z. 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る。①車頭間隔の確率分布：指数分布モデルの適用条件は交通量 $Q=1000$ V.P.H.以下、同じく等間隔モデルは $Q=1000$ V.P.H.以上である。従って、ここでは車頭間隔は1000 V.P.H.以下では指数分布、同1000 V.P.H.以上では位相2以上のアーラン分布に従うと考えた。②音響出力の確率分布： $N(\mu_0, \sigma_0^2)$ に従うと考える³⁾。ただし $\mu_0 = 0.2V + K$ K ：大型車97、小型貨物90、乗用車85 $\dots ⑤$ $\sigma_0^2 = (0.2\sigma_v)^2 + \sigma_p^2 \quad \dots ⑥$ 式⑥で σ_v^2 は車輛速度 V の分散、 σ_p^2 は速度に無関係な音響出力の変動(分散)。車種によって音響出力は異なるので

各車種の混入率(大型車 A_1 , 小型貨物 A_2 , 乗用車 A_3 , 但し $A_1 + A_2 + A_3 = 1$)を与える。③計算区間: 受音点の騒音レベルは片側 $E(m)$ の区間内の車輛からの合成音と考える。式⑦で B は受音点から車線に下した垂線と車線の交点から最も近い車輛までの距離(m)。以上, 車頭間隔は指数またはアーラン型乱数, 首響出力は正規乱数, 車種決定は一樣乱数を発生させて所定の時間 DT 秒毎の騒音レベルを計算した。

$$E_i = \sqrt{79.4 B^2 + 72.4 d^2} \quad \dots (7)$$

3.2 各種要因の変化と推定精度

2. の推定方法で現実の状況を理想化している主な点は次の2つである。①車輛の音響出力を算定する時に平均速度を用いているので, 首響出力に差が生じる要因は車種だけとなり, 同一車種は音響出力が全て等しい。②式①は $y(t)$ (つまり $x(t)$)が連続関数の場合に成立する。しかし, 実際には $x(t)$ は図-1に示すように時間間隔 DT の間に通過する車輛を乗用車に換算して求めているので, 荷重関数の減衰形状が DT に比べて急激に変化する場合に精度が低下すると考えられる。

以上のことを考慮して, ①荷重関数の減衰形状の指標 $P (= \bar{v}/d)$

②車種混入率 A_1, A_2, A_3 ③首響出力の標準偏差, 大型車 C_1 , 小型貨物 C_2 , 乗用車 C_3 ④平均車頭間隔 $S (= 1000 \bar{v}/Q) m$ ⑤サンプリング時

間間隔 DT sec 以上の各種要因と推定精度の関係を調べた。図-2~4に

結果の一部を示す。図中実線は式③の時間的な減衰形状を最大値を基

準にして dB 単位で表わしたものであり, 同じく点

線は実線から $\pm 1dB$ の範囲を示す。また, 符号の

●●は各種の要因が図中の値をとった時に, 前述

の2.の方法で推定した値である。実線の値に近づ

くほど推定精度は良好である。以上のようにして

検討した結果, 次のことが明らかになった。①車

種の混合割合, 平均車頭間隔, アーラン分布の位

相をそれぞれ大幅に変化させても, 推定精度に及

ぼす影響は極めて少ない。②荷重関数の減衰形状

並びに首響出力の変動によって推定精度は変化する。

その様子を前者は図-2に, 後者は図-3に

示す。図-2から $P=6$ の減衰形状が急峻の場合

を除けば, DT を約3秒以下にとれば推定精度がよ

い。図-3は車種は単一であるが全ての車輛につ

いて音響出力が変動している場合の結果である。

このような場合には推定精度が低下するが, 殆どどの推定値が真の値から $\pm 2dB$ の範囲内にある。図-4は各車

種別に首響出力の変動を与えたものである。これから, 騒音の予測に大きな影響を及ぼす相対レベルの比較的大

きな所では, 大型車の首響出力の変動が精度低下の大きな要因であり, 大型車の首響出力を精度よく算出すべき

であることがわかる。

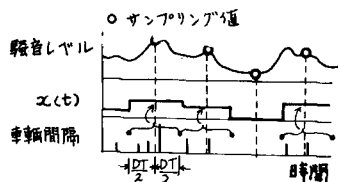


図-1 データのサンプリング方法

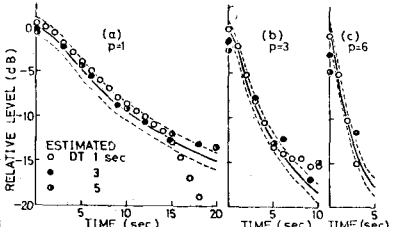


図-2 荷重関数の減衰形状と推定精度 ($S=100m, A_3=1, C_3=0$)

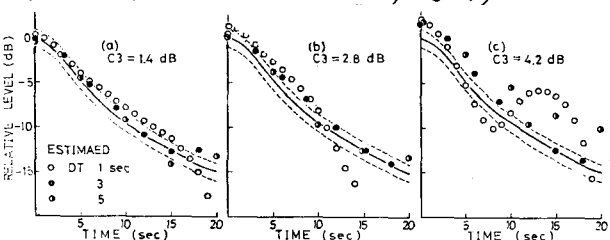


図-3 音響出力の変動と推定精度 ($S=100m, A_3=1, P=1$)

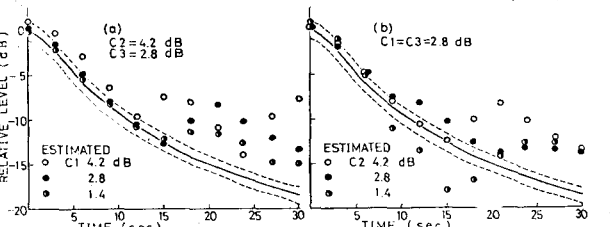


図-4 大型車と小型貨物の首響出力の変動と推定精度 ($S=100m, A_1=0.3, A_2=0.1, P=1, DT=3sec$)

1) 渡辺 他: 郊外の直線道路区間における道路交通騒音の予測, 九州工業大学研究報告第38号, P11~18, 1979
 2) 渡辺 他: 道路交通騒音の伝播特性推定方法に関する一考察, 第34回土木学会年次学術講演要集IV P178~179
 3) 渡辺 他: 自動車走行時における騒音のレベル, 日本音響学会誌55巻3号, P156~160, 1975