

ワイブル分布モデルに基づく道路交通騒音の予測

大阪大学大学院 学生員 金 甲洙
大阪大学工学部 正 員 毛利正光
同 上 正 員 塚口博司

1. はじめに

都市環境に大きな影響を及ぼす道路交通騒音は、依然として大きな社会問題となっている。

道路交通騒音を適確に予測することは今後の道路交通騒音対策を考える上でも非常に重要である。従来、道路交通騒音を予測する際には、通常、等間隔等パワーモデルが用いられてきた。しかしながら、このモデルだけでは充分でない場合があり、予測手法を改良する努力が続けている。その一つの方法に、車両の到着状態を現実と合ったものにし、交通流モデルを精緻化するという試みがある。一方、モデルを精緻化するという方向ではなく、道路交通騒音の分布形状に着目し、これを他の物的な指標から直接に予測することも考えられよう。

この研究では後者の立場で立って、最終的には、道路交通量や車種構成、速度、その他道路の断面形状あるいは沿道の土地利用状況といった種々の要因を考慮して騒音レベルを求める方向で進めていきたい。即ちまず、騒音の分布形状を求め、次にそれを用いて道路交通騒音を予測する方法を取ることにする。本研究の全体像は、図-1に示す通りであるが、今回の発表は、道路交通騒音の再現性までを報告することにした。具体的には、道路交通騒音の実測値 L_A の統計的性質を用いて L_{eq} を推定することにした。

2. ワイブル分布モデル

道路交通騒音は様々な特性を持つ音源によって構成されている。騒音レベルの分布は指数分布、正規分布ガンマ分布、ワイブル分布などが考えられるが、本稿ではこの分布の中でワイブル分布を用いることにした

2-1. 単一型ワイブル分布モデル

ワイブル分布の確率密度関数 $f(t)$ は次式で表される。

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^m} \quad \begin{matrix} t \geq \gamma \\ t < \gamma \end{matrix} \quad (1)$$

$$= 0$$

ここで、 m : 形状パラメータ、 η : 尺度パラメータ、 γ : 位置パラメータである。ワイブル分布はパラメータ m , η を変化させることによって図-2に示すように近似的に様々な分布形状を表すことができる。道路交通騒音レベルがワイブル分布に従うと仮定すれば道路交通騒音レベルの分布は、式(2)のようになる。

$$f(L) = \frac{m}{\eta} (L - L_{base})^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{L - L_{base}}{\eta} \right)^m} \quad L \geq L_{base} \quad (2)$$

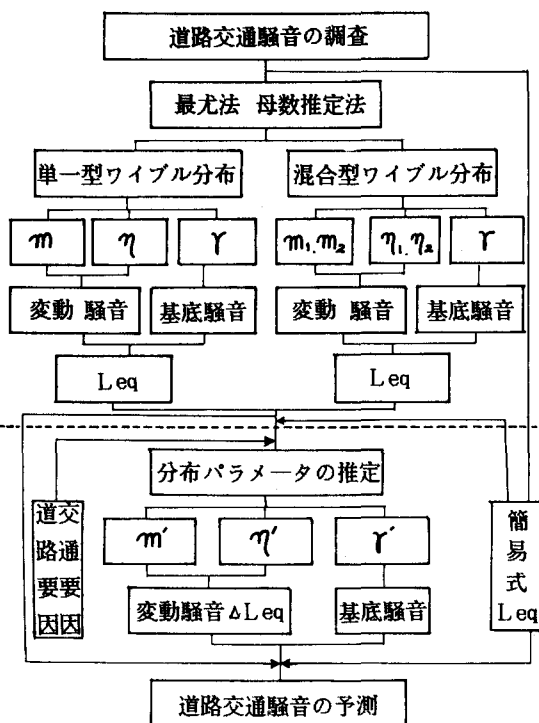


図-1 本研究の流れ

ここで騒音レベルの変動部分 ($L-L_{base}$) についてモーメント法によって騒音レベルのパワー平均を求め、最終的に等価騒音レベル L_{eq} は式 (3) のように表すことができる。

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\int_0^{\infty} e^{-x} \cdot e^{\frac{\ln 10}{10} \cdot \eta \cdot x^{1/m}} dx \right] + L_{base} \quad (3)$$

式 (3) の第 1 項 (以下 ΔL_{eq} と呼ぶ) はガウス・ラゲリの数値積分すれば変動部分の騒音値を求めることができる。そして最終的に変動部分の騒音値と基底騒音の重畳によって L_{eq} を求めることができる。(図-3 参照)

2-2. 混合型ワイブル分布モデル

道路交通騒音の様々の分布形状はワイブル分布によって表すことができるが単一型確率密度関数では十分に騒音レベルの分布を説明できないような場合もある。このような場合には 2 つ以上の異なった分布が混合していると考えるのが妥当であると思われる。分布が 2 つ混合している場合のワイブル分布確率密度関数は式 (4) のように表せる。

$$f(t) = p \cdot \frac{m_1}{\eta_1} \left(\frac{t-\gamma}{\eta_1} \right)^{m_1-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta_1} \right)^{m_1}} + (1-p) \cdot \frac{m_2}{\eta_2} \left(\frac{t-\gamma}{\eta_2} \right)^{m_2-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta_2} \right)^{m_2}} \quad t \geq \gamma \quad (4)$$

$$= 0 \quad t < \gamma$$

ここで m_1, m_2 : 形状パラメータ, η_1, η_2 : 尺度パラメータ, γ : 位置パラメータであり, p は重みである。混合型ワイブル分布曲線は図-4 に示すとおりである。

L_{eq} の計算は単一型ワイブル分布モデルの場合と同様にして式 (5) より求めることができる。

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[p \int_0^{\infty} e^{-x_1} \cdot e^{\frac{\ln 10}{10} \cdot \eta_1 \cdot x_1^{1/m_1}} dx_1 + (1-p) \int_0^{\infty} e^{-x_2} \cdot e^{\frac{\ln 10}{10} \cdot \eta_2 \cdot x_2^{1/m_2}} dx_2 \right] + L_{base} \quad (5)$$

3. ワイブル分布パラメータの推定

3-1. 道路交通騒音の調査

前節で述べたワイブル分布モデルのパラメータを推定するために実測調査を行った。調査地点は国道 171 号線と国道 423 号線、吹田市的一般道路などの 14 地点を選んだ。測定は JIS に準拠して行った。

3-2. 最尤法によるパラメータの推定

騒音レベルにワイブル分布を適用するにあたり、パラメータである m, η, γ を求める方法には、騒音データ

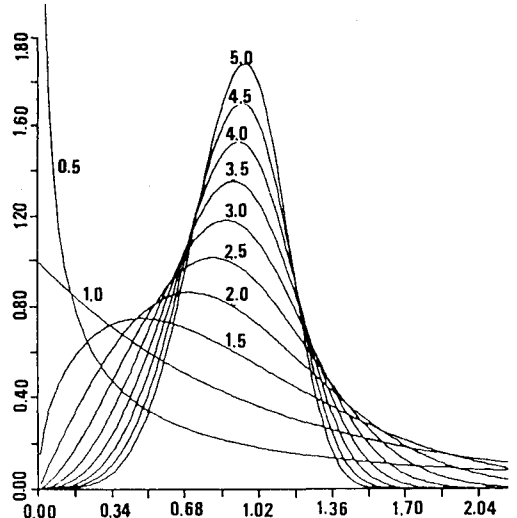


図-2 単一型ワイブル分布曲線

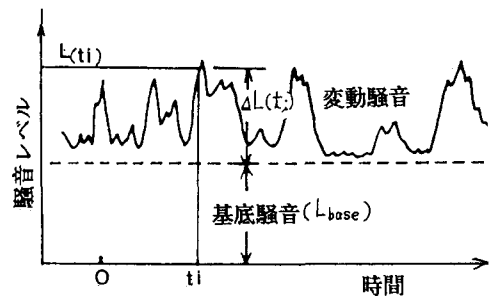


図-3 変動騒音と基底騒音との関係

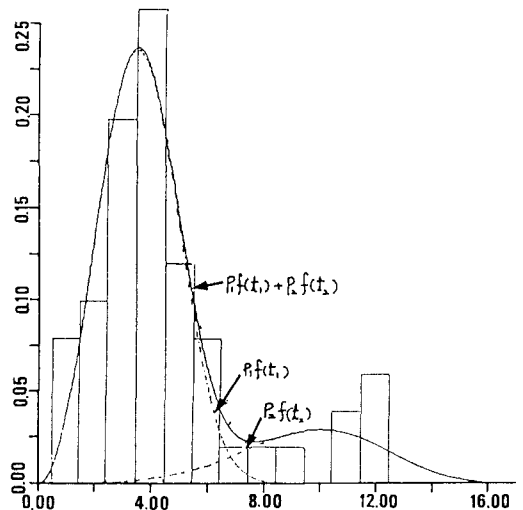


図-4 混合型ワイブル分布曲線

をワイブル確率紙にプロットして求める方法がある。この方法はまず位置パラメータの値を設定しなければならず、また確率紙のプロットは試行錯誤によって繰り返して行なうことが必要となる。したがって確率紙を用いる方法はかなり不正確である。このため本研究においては、 m 、 η 、 γ を最尤法による母数推定法を採用して求めることにした。数値計算は、大阪大学計算機センターのプログラムライブラリー、任意関数 χ^2 の極小値を与える変数の組 (X_0) を決定するプログラムを利用した。

3-3. パラメータの推定結果

最尤法を用いたパラメータの推定結果は図-5、6に示すとおりである。変動騒音レベルを支配するパラメータ m 、 η は、図-5、6で明らかなように通常の道路交通騒音では $1.0 \leq m \leq 5.0$ であり $5.0 \leq \eta \leq 21.0$ であると思われる。ワイブル分布を用いた騒音予測においては位置パラメータとして L_{95} が用いられてきたが、本稿では、位置パラメータ γ を基底騒音とみなして分析を行った。 L_{95} と位置パラメータ γ との関係を示したのが図-7である。国道171号線すなわち1時間交通量が1500台を越える場所には L_{95} と γ が非常に合わない傾向がみえたが、1000台/時間以下の場合には L_{95} と γ がかなりよく合うことがみられた。

4. 道路交通騒音の再現性の検討

まず、単一型ワイブル分布モデルを用いて道路交通騒音 L_{eq} を推定した。ワイブル分布との適合性を検討するため χ^2 検定を用いて調べた。その結果、有意水準5%で総データ数の85%は単一型ワイブル分布モデルをあてはめることができたが、残り15%は棄却された。棄却されたデータについては混合型ワイブル分布を用いて L_{eq} を計算した。棄却されたデータの特徴を検討してみると大型車の混入率が他のデータに比べて多いこと、変動騒音と残留騒音の差がはげしいこと、また、騒音のばらつきが小さいこと等の特徴があった。前節で求めた m 、 η 、 γ の値を式(3)(4)に代入して L_{eq} を計算する。

実測した騒音データから式(6)を用いて L_{eq} を計算した。この値を L_{eq} の実測値と呼ぶことにする。

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad \text{---(6)}$$

$\left\{ \begin{array}{l} N : \text{サンプル数} \\ L : \text{騒音レベル dB(A)} \end{array} \right.$

また、単一型分布で棄却されたデータについては、実測値と単一型ワイブル分布モデルの値と混合型ワイブル分布モデルの値との関係と比較してみたのが図-8である。この図をみると明らかなように両者はあまり差はなく、しかも実測値とかなりよく適合していることがわかった。そこでワイブル分布のあてはめによる道路交通騒音の推定には、実用性からみれば、単一型ワイブル分布モデルだけを適用してもよいと思われるので、以下では単一型ワイブル分布モデルを用いて L_{eq} を推定することにする。実測値と推定値との適合性を検討するためにパーセントRMS誤差を計算してみた。その結果3.8%の誤差となっ

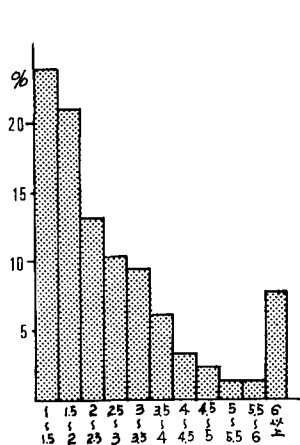


図-5 パラメータ m の分布

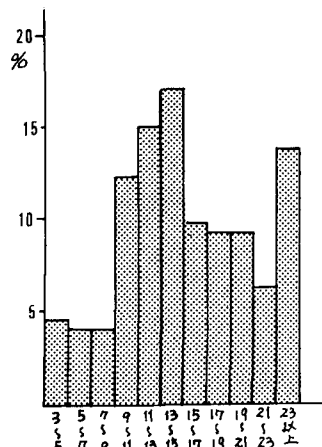


図-6 パラメータ η の分布

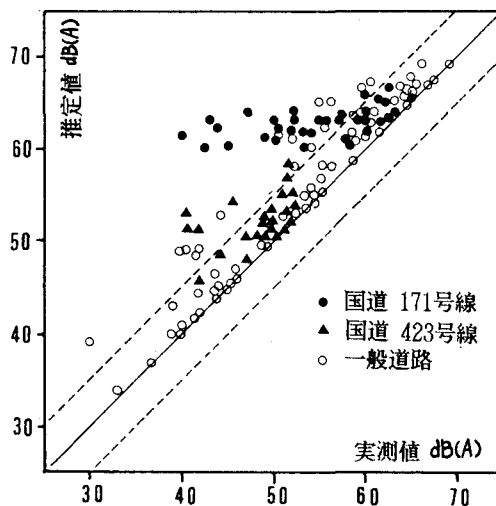


図-7 残留騒音と基底騒音との関係

ている。この誤差はかなり小さいと思われる。また、実測値と推定値との関係をプロットした図-9をみれば両者はかなりよく適合していることが確認できる。したがって、ワイブル分布モデルを用いて道路交通騒音を再現することが可能であると思われる。

5. 道路交通騒音の予測に向けて

前節で述べたように、ワイブル分布モデルを用いて道路交通騒音を高い精度で再現することができた。交通量や大型車混入率、速度、走行状態、道路構造、沿道状況等の要因を説明変数としてパラメータ m , η , τ を各々推定することができれば、将来の道路騒音を予測することができる。今後、交通要因や道路要因等からワイブル分布のパラメータを推定して、ワイブル分布モデルを用いた道路交通騒音 L_{eq} を予測する手法の確立に向けて研究を進めたい。

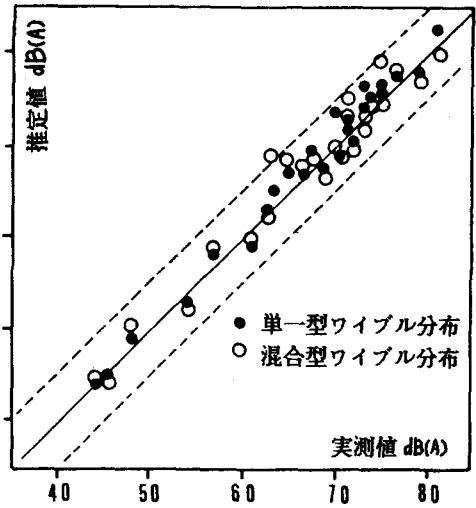


図-8 単一型と混合型との比較 (L_{eq})

参考文献

- 1) 西宮；任意の環境騒音におけるワイブル分布のあてはめによる L_{eq} の推定。日本音響学会誌。Vol.35, (10) 1979.
- 2) 毛利，溝淵；ワイブル分布にあてはめる環境騒音の評価。土木学会関西支部年次学術講演概要，1982,9
- 3) 毛利，塚口，金；ワイブル分布を用いた環境騒音の推計に関する一考察。日本騒音制御学会技術発表会論文集。1983,9
- 4) 金，毛利，塚口；ワイブル分布を用いた環境騒音の予測。土木学会年次学術講演会講演概要集。1983,9
- 5) 毛利，塚口，金；ワイブル分布のあてはめによる環境騒音の推定。日本・韓国，合同音響学会学術発表講演会論文集。1983,11

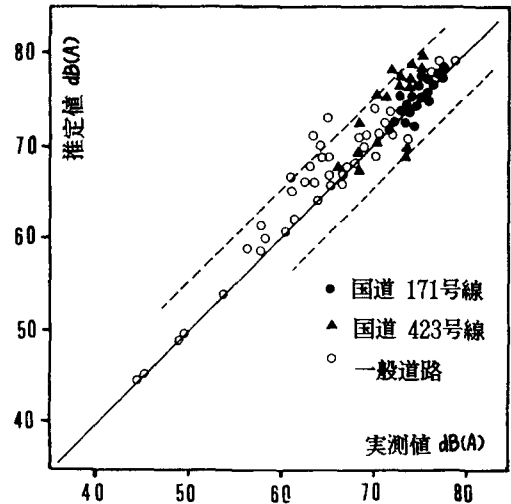


図-9 実測値と推定値との関係 (L_{eq})