

タイ王国における道路交通騒音予測手法の開発に関する研究

白井清嗣

要 旨

筆者は、タイ王国環境研究研修センター (ERTC) へ JICA 騒音振動専門家として派遣され、環境影響評価のための道路騒音予測手法の開発に関する研究について技術指導を行ってきた。

タイ王国で用いる道路交通騒音予測式は、同国の基準設定の動向を勘案すると、国際的に一般化している等価騒音レベル (L_{eq}) を評価単位として開発する必要がある。一方、日本で使用されている予測式は、騒音レベルの中央値 (L_{50}) を評価単位としており、いわゆる等間隔モデルを用いている。この等間隔モデルは単純であるが、条件が多少複雑になっても実用的な予測精度が得られるため汎用性に優れている。そこで、本研究においては、等間隔モデルによる L_{eq} の予測式を用いることにした。

すなわち、タイ国内を実際に走行している車両のパワーレベルを測定し、車種別の走行速度によるパワーレベルの回帰式を求めた。そして、道路交通騒音を実際に測定することによって、本予測式が実用に供し得ることを確認した。

A Study on the Development of Road Traffic Noise Prediction Methodology in the Kingdom of Thailand

Kiyotsugu Shirai

Summary

I had been dispatched to the Environmental Research and Training Centre (ERTC) of the Kingdom of Thailand as a JICA Expert on Noise and Vibration Pollution. And, I had transferred the technology as to the study on the development of road traffic noise prediction methodology for the Environmental Impact Assessment.

Considering the trend of setting standards of the above country, it is necessary to develop the noise prediction methodology whose evaluation unit is equivalent noise level (L_{eq}) that is used internationally in general. On the other hand, the evaluation unit of the prediction methodology used in Japan is the median of noise level (L_{50}), which is calculated by using the so called equal-interval model. While this equal-interval model is simple, it can bring practical accuracy even in some complex conditions and is excellent at multi-usability. Therefore, in this study, it was decided to use the prediction methodology of L_{eq} using the equal-interval model.

The power levels of running vehicles were measured in actual conditions, and the regression equations of power levels based on vehicles' speeds were calculated for different kinds of vehicles. Consequently, it was confirmed that this prediction methodology could be offered in practical use.

1 はじめに

日本国政府による環境ODAの第1号プロジェクトとして、タイ王国に環境研究研修センター（以下、「ERTC」という。）が設立され、1992年3月に開所式が行われた。日本国際協力事業団（JICA）によって、大気汚染、水質汚濁、騒音振動、有害物質などの各公害分野の専門家がERTCに派遣され、環境保全技術の移転を行っている。筆者は、騒音振動担当の長期専門家として1993年1月から1995年3月までの2年3か月間、ERTCへ派遣された。

ERTCでの筆者の業務は、騒音振動に関する研究、モニタリング及び研修のそれぞれについて、各カウンターパート（技術移転の相手となるパートナー）に技術指導を行うことであった。騒音振動に関する研究活動は、「道路交通騒音予測手法の開発に関する研究」が主要研究テーマとして掲げられ、これについてカウンターパートとともに調査、研究を行ってきた。本報では、この研究成果について報告する。

2 タイの騒音事情

(1) 道路交通騒音の現状

タイの年平均GDP成長率は、過去10年間約10%を維持し、世界中でいま最も急速に経済成長している国の一つに上げられている。タイの総人口は約5,700万人であるが、バンコク首都圏人口は約640万人に達している。一方、バンコクに次ぐ第二、第三の都市であるナコンラチャシマ及びチェンマイの人口は、いずれも約20万人に留まっており、首都バンコクへの人口集中が特に著しくなっている。

タイは鉄道の整備が遅れており、旅客及び貨物輸送は道路による輸送が主である。タイ全体で自動車総量が急速に増加し、1993年の車両登録台数は、タイ国内で1,110万台、バンコク都内で266万台に達している。バンコクには、東京都内の山手線や地下鉄に相当する鉄道がないため、バンコクの交通渋滞は「世界ワーストワン」と呼ばれるほどに深刻化している。また、車検制度の整備も不十分なため、整備不良車やマフラー改造車も多く走行している。

タイ政府科学技術環境省が1990年にバンコクで調査した主要道路における24時間エネルギー平均騒音レベル（ $L_{eq(24)}$ ）は、大部分の観測地点で80dB(A)を超えてい

た。これは、アメリカで定めている $L_{eq(24)}$ の環境基準値70dB(A)を大きく上回っている。

バンコクの交通渋滞に対処するため、高架構造等の高速道路の建設が急ピッチで進められている。タイ政府は既に環境影響評価制度を定めているが、タイ国内を実際に走行する車両のパワーレベルの測定データは少なく、タイに適した道路交通騒音予測手法はこれまでなかった。このため、ERTCでの騒音振動に関する主要研究テーマとして、道路交通騒音予測手法の開発に関する研究が掲げられた。

(2) 騒音の評価単位

タイで用いる騒音の評価単位としては、同国の基準設定の動向を勘案すると、国際的に一般化している評価単位である等価騒音レベル（ L_{eq} ）が適している。

一方、日本の道路交通騒音の基準は、騒音レベルの中央値（ L_{50} ）で定められており、日本音響学会（「ASJ」という。）による L_{50} の予測式が使われている。ASJの L_{50} 予測式は、いわゆる等間隔モデルと呼ばれる単純化した予測モデルを用いているが、条件が多少複雑になっても実用的な予測精度が得られ、汎用性の高い予測手法として評価されている。なお、ASJは道路交通騒音の L_{eq} 予測式を開発しているが、この予測手法はユニットパターン方式と呼ばれ、コンピュータシミュレーションによる予測を想定した予測手法であり、理論及び計算方法が簡単ではない¹⁾。

このため、本研究では、ASJの L_{50} 予測式と同じ等間隔モデルを使用して、タイの環境影響評価制度の運用に適した L_{eq} 予測手法の開発を行うことにした。

3 等間隔モデルによる L_{eq} 予測式

(1) 半自由空間での騒音伝播

音響的な自由空間を想定し、点音源の音響パワーを P （W）とする。半径 r （m）の球体の表面積は $4\pi r^2$ （ m^2 ）であるので、点音源から r （m）の位置での音響インテンシティ I （W/ m^2 ）は式(1)で表される。

$$I = P / 4\pi r^2 \quad (1)$$

したがって、平坦で反射性の平面をもつ半自由空間においては、 r （m）の位置での音響インテンシティ I （W/ m^2 ）は式(2)のようになる。

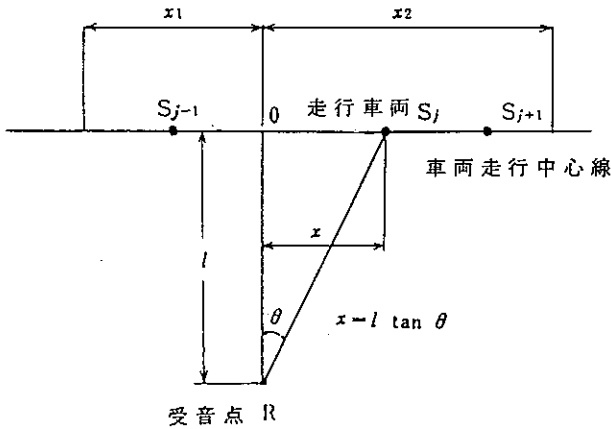


図1 直線縦列走行のモデル

$$I = P / 2 \pi r^2 \quad (2)$$

(2) 無限長道路からの音響インテンシティー
 走行する車両は、無指向性点音源と見なせるものとする。図1のように、点音源“……、 S_{j-1} 、 S_j 、 S_{j+1} 、……”が任意の位置を1列に直線的に並んで走行していると、車両走行線から受音点Rまでの距離を l 、原点Oからの S_j の位置を x とする。いま、 S_j が音響パワー P_j を発生し、半自由空間を伝播するとすると、受音点Rでの音響インテンシティー I_j は式(2)から式(3)のように表される。

$$I_j = P_j / 2 \pi (l^2 + x^2) \quad (3)$$

ここで、車両が走行する時間区間を (t_1, t_2) とする。また、走行する道路の距離区間で表す場合は、 (x_1, x_2) とする。この区間内での平均音響インテンシティー \bar{I} は式(4)または式(5)で表される。

$$\bar{I} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \sum_j I_j dt \quad (4)$$

$$= \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} \sum_j I_j dx \quad (5)$$

いま、区間 (x_1, x_2) を走行する車両台数を N とし、車両 S_j の音響パワー P_j が時間変動がなく均一であるとすると、車両1台当たりの平均音響パワー \bar{P} は式(6)で表される。

$$\bar{P} = \sum_j P_j / N \quad (6)$$

また、車両台数 N は、平均車頭間隔を d (m) とすると式(7)で表される。

$$N = (x_2 - x_1) / d \quad (7)$$

したがって、直線道路上の区間 (x_1, x_2) に平均音響パワー \bar{P} の車両が平均車頭間隔 d をおいて走行しているとすると、受音点での平均音響インテンシティー \bar{I} は、式(5)に式(3)を代入し、式(6)及び式(7)によって整理すると、式(8)で表すことができる。

$$\bar{I} = \frac{\bar{P}}{2 \pi d} \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{(l^2 + x^2)} dx \quad (8)$$

そこで、区間 (x_1, x_2) を区間 (θ_1, θ_2) に置き換えることにする。 $x = l \tan \theta$ であるので、平均音響インテンシティー \bar{I} は式(9)のように表される。

$$\bar{I} = \frac{\bar{P}}{2 \pi d l} \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta \quad (9)$$

いま、道路を無限長と仮定することになると、道路区間 (θ_1, θ_2) を $(-\pi/2, \pi/2)$ と置き換えることができる。無限長と見なせる道路からの平均音響インテンシティー \bar{I} は、式(10)のように簡単な式で表すことができる。

$$\bar{I} = \frac{\bar{P}}{2 d l} \quad (10)$$

(3) 基本となる L_{eq} 予測式

音圧レベルは、音圧のデシベル表示と定義されている。すなわち、音圧レベル L (dB) を音響インテンシティー I を用いて表すと式(11)となる。

$$L = 10 \cdot \log_{10} I / I_0 \quad (11)$$

I_0 : 基準音響インテンシティー
(10^{-12} (W/m²))

したがって、車両1台当たりの平均音響パワーを \bar{P} (W/m²) とすると、平均音響パワーレベル PWL (dB) は式(12)で表される。

$$PWL = 10 \cdot \log_{10} \bar{P} / I_0 \quad (12)$$

また、等価騒音レベル L_{eq} (dB) は、平均音響インテンシティー I を用いて表すと、式(13)のようになる。

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \bar{I} / I_0 \quad (13)$$

したがって、式(13)に式(10)及び(12)を代入すると、図2に示すような無限長道路における1縦列走行の等間隔等パワーモデルでの等価騒音レベル L_{eq} (dB) を求める基本式として式(14)が得られる²⁾。

$$L_{eq} = PWL - 10 \cdot \log_{10} 2 d \ell \quad (14)$$

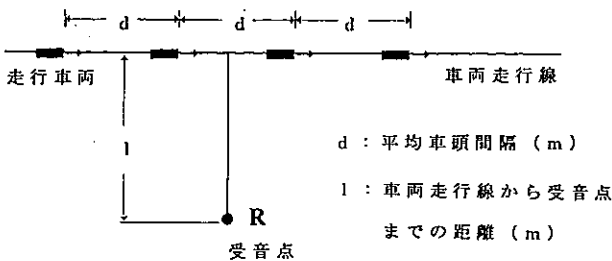


図2 1縦列走行の等間隔等パワーモデル

4 実用的 L_{eq} 予測式の導入

(1) 減衰補正値の付加

式(14)に、障壁による回折及び地表面減衰等の伝搬特性による減衰補正を加えることにより、道路交通騒音に適用する等価騒音レベル L_{eq} (dB) の予測式として、式

(15)をつくることことができる。

$$L_{eq} = PWL - 10 \cdot \log_{10} 2 d \ell + \Delta L_d + \Delta L_g \quad (15)$$

PWL : 車両1台当たりのエネルギー平均パワーレベル (dB (A))

d : 走行車両の平均車頭間隔

ここに、 $d = 1000V/N$

V : 平均走行速度 (km/h)

N : 交通量 (台/h)

ℓ : 走行車線から受音点までの距離 (m)

ΔL_d : 回折減衰による補正値 (dB)

ΔL_g : 地表面減衰等の騒音伝搬特性による補正値 (dB)

ア 回折減衰補正値 (ΔL_d)

障壁による回折減衰の補正値 (ΔL_d) は、ASJの L_{50} 予測手法で用いられるものと同じ計算式を用いることにした。

イ 地表面減衰等の補正 (ΔL_g)

タイと日本では気象が異なることから、騒音伝搬特性が異なると考えられる。しかし、ERTCのスタッフだけでこの調査を行うことは困難であったので、地表面減衰等の騒音伝搬特性の補正値 (ΔL_g) は、日本での等価騒音レベルの測定事例をとりあえず引用し、式(16)のとおりとした³⁾。

地上 1.2mの場合;

$$\Delta L_g = 5.77 - 7.92 \ell \quad (16)$$

(2) 音源位置の設定方法

ア 音源の高さ

音源の高さは、ASJの L_{50} 予測手法と同様、地上 0.3mとした。

イ 多車線道路の合成

多車線道路の場合の音源位置の設定方法は、ASJの L_{50} 予測手法に準じて行い、 n 本の車両走行線を設定した場合の等価騒音レベル L_{eq} (dB) は、 i 本目の車両走行線からの等価騒音レベルを $(L_{eq})_i$ とすると、式(17)により合成することとした。

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{(L_{eq})_i/10} \right) \quad (17)$$

5 車両平均パワーレベルの測定

(1) 車両パワーレベルの測定方法

タイ国内を実際に走行する車両のパワーレベルを各地で測定した。車両走行中心線から7.5m離れた地上1.2mの位置に騒音レベル計(リオンNL01A)を立て、レベルレコーダ(リオンLR04)に記録することにより、走行車両のピークレベルを測定した。走行速度は、区間100mを通過する時間により求め、車種については、車輪数及びその他を調べた。測定台数の合計は、5,330台である。

(2) 車種別車両平均パワーレベル

車種分類は、車輪数で分類することとし、2車種に分類することにした。大型車は、車輪数が6輪以上の車両、小型車は、車輪数が4輪以下の車両と定義した。大型車及び小型車の測定台数の内訳は、大型車1,517台、小型車3,813台であった。

大型車及び小型車の騒音レベルの測定データは、図3及び図4のとおりであった。パワーレベルと走行速度との相関関係は、表1のとおりであった。パワーレベルの速度依存性については、速度Vの比例式と速度の対数 $\log_{10} V$ の比例式について、それぞれ回帰式を求めた。 $\log_{10} V$ の回帰式の方がVの回帰式よりも、わずかながら相関が高かったため、 $\log_{10} V$ の回帰式を採用することにした。

大型車の $\log_{10} V$ の回帰式の係数は20.4であり、小型車の係数を大型車と同じ20.4にしても実用上差し支えな

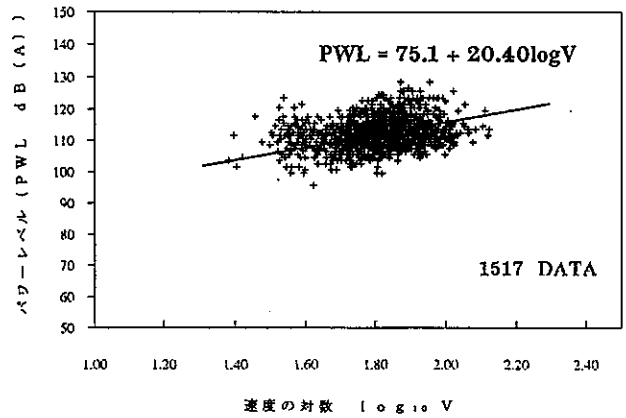


図3 大型車のパワーレベル

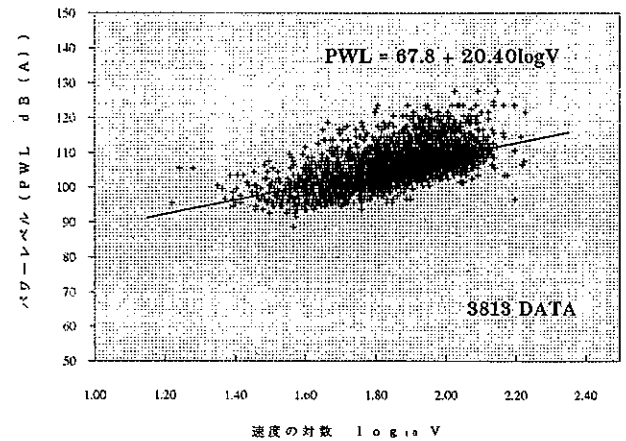


図4 小型車のパワーレベル

表1 車種別パワーレベルの速度との相関

車種	測定台数	平均速度 (km/h)	平均パワーレベル dB (A)	相関関係式	相関係数	標準偏差
大型車	1517	67.26	86.90	$PWL = 108.1 + 0.06 \cdot V$	0.23	4.369
				$PWL = 75.1 + 20.4 \cdot \log V$	0.34	4.213
小型車	3813	77.67	80.86	$PWL = 96.0 + 0.13 \cdot V$	0.59	4.051
				$PWL = 65.2 + 21.9 \cdot \log V$	0.60	4.024
				$PWL = 67.8 + 20.4 \cdot \log V$	0.57	4.103

い程度しか誤差は大きくならないので、大型車及び小型車ともに $\log_{10} V$ の係数を20.4とすることにした。したがって、大型車及び小型車の車種別平均パワーレベル計算式として、式(18)及び式(19)の回帰式が得られた。

$$PWL \text{ (大型車)} = 75.1 + 20.4 \cdot \log_{10} V \quad (18)$$

$$PWL \text{ (小型車)} = 67.8 + 20.4 \cdot \log_{10} V \quad (19)$$

式(18)及び式(19)から、大型車と小型車が混入した場合のパワーレベルPWLの計算式として、式(20)が得られる。

$$PWL = 67.8 + 20.4 \cdot \log_{10} V + 10 \cdot \log_{10} \{ (1-a) + 5.37a \} \quad (20)$$

PWL : 車輛1台当たりのエネルギー平均パワーレベル (dB (A))
 V : 平均走行速度 (km/h)
 a : 大型車混入率

6 道路交通騒音の実測値と予測値との比較

(1) 道路交通騒音の測定方法

直線道路が長く続き、広範囲にわたり遮蔽物のない、平坦な場所を選定し、車線数は2, 4, 6, 8及び10車線の道路について道路交通騒音を測定した。車道端から0, 5, 10, 20, 40, 60及び80m地点の地上高さ1.2mに騒音レベル計(リオンNL01A)を立て、各騒音レベル計にそれぞれ測定員が付いて10分間の測定を行った。測定地点数は、合計432地点である。

(2) 実測値と予測値との比較

道路交通騒音の実測値と予測値との比較を図5に示すが、交通量の多少、道路の車線数、車道端からの距離にかかわらず全ての測定データをプロットしたものである。

実測値と予測値との誤差は、ほぼ ± 3 dBの範囲内にあり、実用的な誤差範囲内にある。実測値(X)と予測値(Y)との関係をまとめると、以下のとおりであった。

相関関係式 : $Y = 1.0043X - 0.78$
 相関係数 : 0.96
 標準偏差 : 2.03
 データ数 : 432

ASJの L_{50} 予測式にあるような交通量による使用制限は、 L_{eq} の予測の場合には必要ないと言える。また、 L_{50} の実測値は車道端付近(車道端から0及び5m地点付近)ではばらつきが大きく、予測結果との誤差が大きくなるが、 L_{eq} の予測の場合には実測値と予測値とが良く一致している。

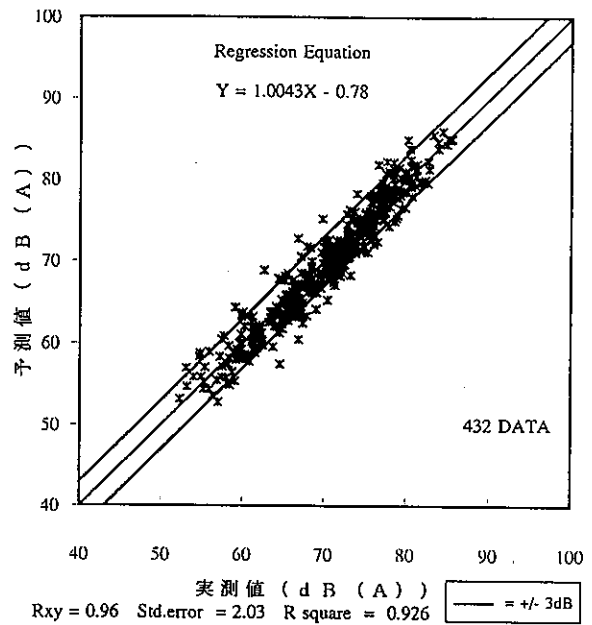


図5 実測値と予測値との比較

7 本予測手法の実用化と普及

(1) パソコン計算プログラムの開発

本予測式のパソコン用計算プログラムを開発し、本予測手法の実用化を図った。パソコンは、タイ国内で広く使用されているIBM及びその互換機を対象とした。

プログラムのフローチャートは、図6に示すとおりである。データ入力方法は、まず走行車線数を入力し、次に各車線数ごとに、交通量、走行速度、大型車混入率、道路端から走行車線までの距離及び地表面から走行車線までの高さを入力することになっている。また、障壁がある場合には、路面からの障壁の高さ及び道路端からの距離を入力する。

パソコンによる計算結果の出力例は、図7に示すとおりである。

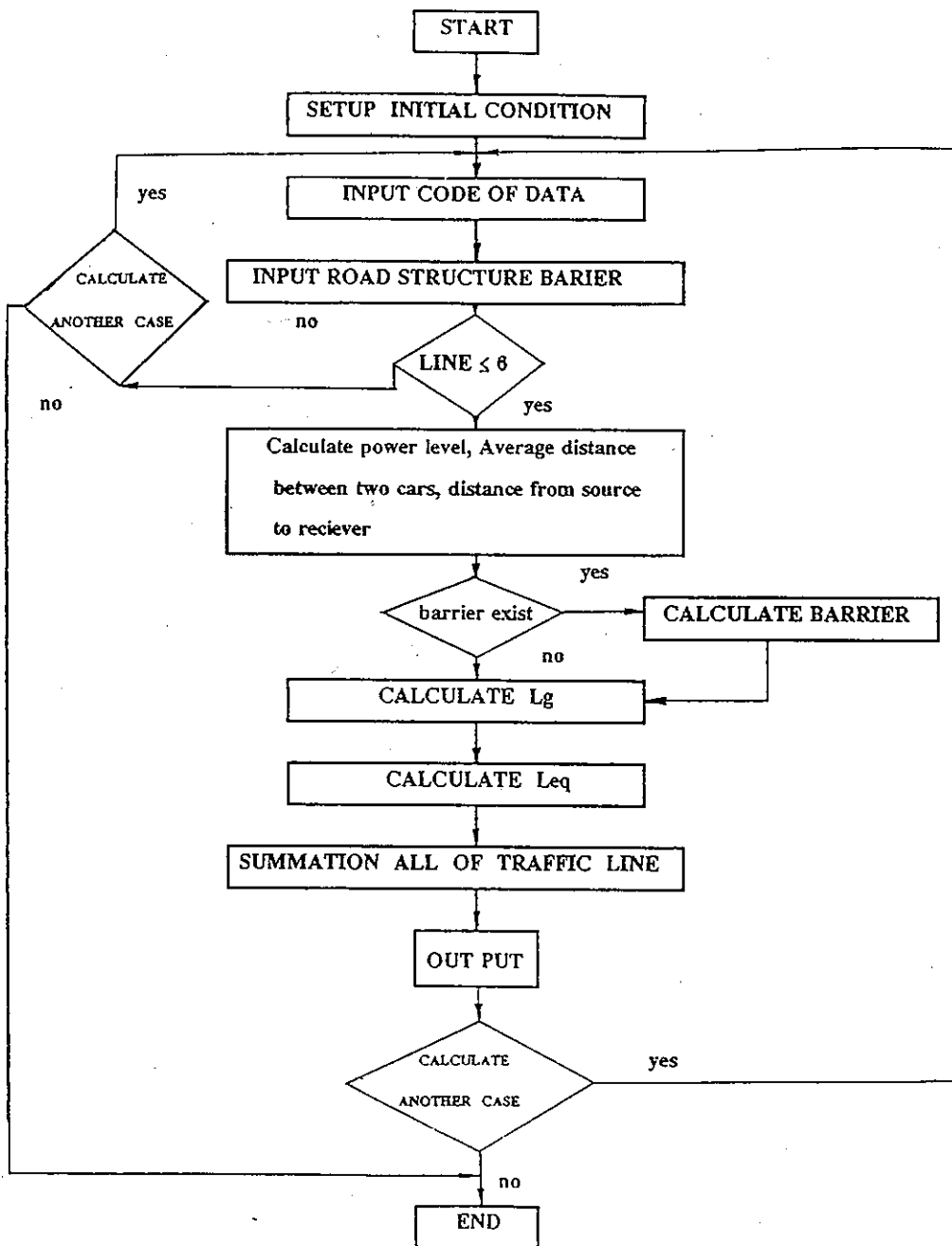


図6 プログラムのフローチャート

(2) 予測手法の普及等

ア 学会発表

本研究成果は、1994年8月に日本（横浜）で開催された「国際騒音制御工学会”The 1994 International Congress on Noise Control Engineering”」でカウンターパートが招待論文として発表した⁴⁾。また、筆者も帰国後に発表した⁵⁾。

イ セミナー開催等

道路騒音の関係者を集めてセミナーを開催し、本予測手法について講演を行った。また、ERTCで行っている地方職員などを対象とした研修の際にも、本予測手法の普及を図っている。

***** PREDICTED NOISE LEVEL BY ERTC MODEL *****

CODE OF DATA : CM2001

+++++ Traffic Condition and Road Structure +++++

----- DATA OF LINE NUMBER 1 -----

Traffic Volume : 1578 cars/hr.
 Speed (30<V<140) : 52.93 km./hr.
 Ratio of big cars per total cars (a<1) : 0.15
 Distance from roadside to this line : 4.6 m.
 Height from ground surface to this line : 0.0 m.

----- Barrier Structure -----

Barrier height from road surface : 0.0 m.
 Barrier Position from roadside. : 0.0 m.

===== DATA END =====

***** Predicted Noise Level *****

Receiver Height : 1.2 m.

Receiver Distance : 0-99 m.

{distance(m)}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	80.6	79.1	77.9	76.8	75.9	75.0	74.3	73.6	72.9	72.3
10	71.8	71.3	70.8	70.3	69.9	69.5	69.1	68.7	68.4	68.0
20	67.7	67.4	67.1	66.8	66.6	66.3	66.0	65.8	65.5	65.3
30	65.1	64.9	64.6	64.4	64.2	64.0	63.8	63.6	63.5	63.3
40	63.1	62.9	62.8	62.6	62.4	62.3	62.1	62.0	61.8	61.7
50	61.5	61.4	61.2	61.1	61.0	60.8	60.7	60.6	60.5	60.3
60	60.2	60.1	60.0	59.9	59.7	59.6	59.5	59.4	59.3	59.2
70	59.1	59.0	58.9	58.8	58.7	58.6	58.5	58.4	58.3	58.2
80	58.1	58.0	57.9	57.8	57.8	57.7	57.6	57.5	57.4	57.3
90	57.2	57.2	57.1	57.0	56.9	56.8	56.8	56.7	56.6	56.5

***** Predicted Level End *****

図7. パソコンの入出力例

表2 タイと日本の車両パワーレベルの比較 (時速80km)

単位: dB(A)

	タイ	日本	差
大型車	113.9	108.2	5.7
小型車	106.6	102.6	4.0
差	7.3	5.6	

注1) タイのパワーレベルは、式(18)及び(19)から求めた。
 注2) 日本のパワーレベルは、参考資料1)から引用した。
 注3) 車種分類方法等は、両国間で異なる。

8 タイと日本との比較

(1) 車両パワーレベルの比較

2車種分類の場合、車輪数6輪の小型貨物車は、日本では小型車に分類されるが、タイでは大型車に分類されることになり、タイと日本とでは車種分類方法が異なっ

ている。

自動車の走行速度を時速80kmとした場合の大型車と小型車のパワーレベルをタイ国と日本とで比較すると、表-2に示すようになる。車種分類方法は異なるが、タイの実走行車両のパワーレベルを日本と比較すると、大型車は6dB程度、小型車は4dB程度高いことが分かる。タイでは車検制度の整備の遅れが指摘されているが、この結果からも自動車単体(特に、大型車)に対する騒音対策がまず必要と提言することができる。

(2) 予測手法の比較

開発したタイの予測手法の適用条件をまとめ、これを日本の予測手法と比較すると、表-3に示すようになる⁶⁾。

ア ASJのL₅₀予測式との比較

ASJのL₅₀予測式は、交通量が1000台/時以上を適

表3 タイと日本との予測手法の比較

		タイ (ERTC)	日本 (ASJ)	
予測手法	評価単位	等価騒音レベル L_{eq}	騒音レベル中央値 L_{50}	等価騒音レベル L_{eq}
	予測モデル	等間隔モデル	等間隔モデル	ユニットパターン方式
交通条件	交通量	制限なし	1,000台/h以上 (1,000/h以下)**	制限なし
	速度	30~140km/h	30~100km/h	60~120km/h
予測範囲	距離	0~80m (~100m)*	0~80m (~160m)**	0~80m
	高さ	1.2m (~12m)*	1.2~12m (~40m)**	1.2~12m
音源設定	速度(V)の依存式	$20.4 \cdot \log V$	$0.2 \cdot V$	$20 \cdot \log V$
	音源高さ	0.3m	0.3m	0m

*注1) 実測調査からの予測範囲は上記のとおりであるが、計算ソフト上は括弧書きまでできる。

**注2) ASJの予測式は当初上記のとおりであったが、その後、建設省土木研究所により括弧書きまでできるように提案されている。

用条件としており、1000台/時未満の場合には別の補正値を用いることになっている。また、車道端付近では測定値がばらつき予測値との誤差が大きくなる。

しかし、 L_{eq} の予測の場合にはそのようなことがなく予測が容易であると言える。

イ ASJの L_{eq} 予測式との比較

ASJの L_{eq} 予測式は、コンピュータシミュレーションを想定したユニットパターン方式を採用しており、曲

線道路や有限長障壁などに適用できるものであるが、等間隔モデル式のような汎用的な簡便さはない。

9 おわりに

1縦列走行の等間隔等パワーモデルを用い、タイを走行する車両のパワーレベルを測定することにより、タイに適すると思われる L_{eq} の道路交通騒音予測式を開発することができた。本予測式は、タイ国での環境影響評価

のための予測手法として十分使用できを確認しており、今後普及されることになっている。

本予測式の地表面減衰等による補正値は日本のものを用いている。今回の測定では地上1.2 mにおいて行っているため、地表面抵抗による減衰の影響が大きく、日本とタイとの気象の違いによる影響は少なかった。しかし、地上高さが高くなるにつれ気象の違いが現れてくるものと思われる。

ERTCプロジェクトは、1997年3月まで技術協力期間が延長されたので、本研究テーマについてさらに技術移転が行われ、本予測手法が改良されることを期待している。

日本においては、現在 L_{50} で定められている環境基準値を国際的な評価単位である L_{eq} に改正することを検討している。今回開発した L_{eq} 予測式は、パワーレベルを資料⁹⁾から引用することにより、日本で利用できる簡便な予測式とすることができる。日本国内においても、このような等間隔モデルを用いた簡便な L_{eq} 予測手法について検討されることが必要であると考えている。

謝 辞

JICA専門家としてERTCへ赴任する機会を与えてくれた環境庁、JICA及び東京都環境保全局に感謝するとともに、ERTC国内支援委員会、ERTC専門家チーム及びERTCへ赴任していただいた短期専門家の方々のご支援に厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本音響学会騒音研究委員会；道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測計算方法（日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告）、騒音研究会資料（資料番号N-92-61）、1992年11月。
- 2) 建設省土木研究所道路部交通環境研究室；道路交通騒音の L_{eq} に関する調査研究、土木研究所資料第1952号、昭和58年3月。
- 3) 足立義雄、石田稔；騒音レベルに関する二、三の基礎的検討、土木技術資料、23, No. 12 (Dec.1981)。
- 4) Thanaphan Suksaad, Kiyotsugu Shirai, et al ; "Road Traffic Noise Prediction Model in Thailand" , Proceeding of the 1994 International Congress on Noise

Control Engineering (Aug. 1994)。

- 5) 白井清嗣、タナパン・スクサード；タイ国における道路騒音予測手法の開発、（社）日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集（平成7年9月）。
- 6) 日本騒音制御工学会・技術部会；諸外国における騒音予測手法、日本騒音制御工学会・技術レポート第5号 (Jan. 1986)。