

在来線鉄道騒音の評価指標について

—鉄道騒音評価方法の研究 第10報—

今泉 信夫 今井 章久
(非常勤研究員)

1 はじめに

在来線道路騒音の評価方法として、JIS改正に伴い導入された等価騒音レベルによる評価を行う場合の基礎的検討として、現場における実測時間のとり方、算出根拠となる単発騒音暴露レベルの求め方、ピーク値 L_M との関係などについて、実測例を用いた検討を行った。前報¹⁾では都内の在来線鉄道騒音に関する住民意識調査から、 L_{eq24} , L_{dn} , L_M , L_M と列車本数などと住民反応との比較検討を行い、影響項目のとり方によってこれら評価量との対応は異なるものの、総合的に判断すれば評価量としては L_{eq} が妥当であることを報告した。しかし、 L_{eq} による評価は、測定方法を簡略化してもなお行政面では、測定時間、 L_{AE} 算出に要する労力、時間など実務上の難点が考えられる。そこで本報では L_{eq} に代る鉄道騒音評価指標について石井²⁾による報告をもとに、都内の在来線鉄道騒音の実測データを用いての検討を行った。

2 L_{AE} , L_M 及び過剰減衰の関係

石井は鉄道騒音の評価方法についてピーク値 L_M と1日の列車本数 N による評価指標として次式をあげている。

$$\text{評価指標} = \bar{L}_M + 10 \log N - A \quad \dots\dots (1)$$

これは L_{eq} に近い考え方で、すなわち L_{eq} は、

$$L_{eq24} = \bar{L}_{AE} + 10 \log N - 49.4 \quad \dots\dots (2)$$

であるから、(1)式を用いる場合、基本になるのは L_{AE} と L_M の関係である。この点についてはすでに前報³⁾⁴⁾で二・三の面から検討したが、さらに前報⁵⁾でふれた過剰減衰の面も加えて補足的に考察、整理してみる。

図1に示すように列車を長さ l [m] 強さ W [W/m] の線音源で、音圧指向係数 $\cos^n \theta$ ($n=1$) とし、音源すなわち列車の中心位置を x [m]、受音の距離を r [m] とする。この場合、理論値を上回る減衰すなわち過剰減衰が a [dB/m] あるものとする。この場合の瞬時値、最

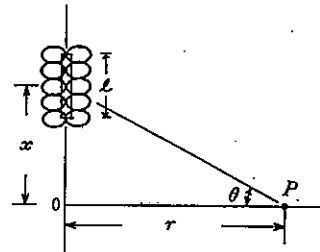


図1 指向性音源の集合による有限長線音源

大値、継続時間、全暴露量は前報⁴⁾に従い次式で示される。なお、これらを解析的に求めることは困難であり、すべて数値積分などにより数値解を得ることになる。

ア 瞬時値

$$E_i = \int_{x-\frac{l}{2}}^{x+\frac{l}{2}} \frac{3W}{2\pi c} \frac{1}{r^2+x_1^2} \frac{r^2}{r^2+x_1^2} 10^{-\frac{a}{10}\sqrt{r^2+x_1^2}} dx_1$$

$$= \int_{x/l-1/2}^{x/l+1/2} \frac{3W}{2\pi c} \frac{1}{l} \frac{(r/l)^2}{\{(r/l)^2+(x_1/l)^2\}^2} 10^{-\frac{al}{10}\sqrt{(r/l)^2+(x_1/l)^2}} d(x_1/l) \quad \dots\dots (3)$$

ここで x_1 は長さ dx_1 の微小音源の位置を示す。

過剰減衰の大きさを a [dB]、すなわち列車長の伝搬でどれだけ減衰するかを変数とすることによって一般的な式とすることができる。

イ 最大値

(3)式において $x=0$ とする。

$$E_M = \int_{-1/2}^{1/2} \frac{3W}{2\pi c} \frac{1}{l} \frac{(r/l)^2}{\{(r/l)^2+(x_1/l)^2\}^2} 10^{-\frac{al}{10}\sqrt{(r/l)^2+(x_1/l)^2}} d(x_1/l) \quad \dots\dots (4)$$

ウ 継続時間

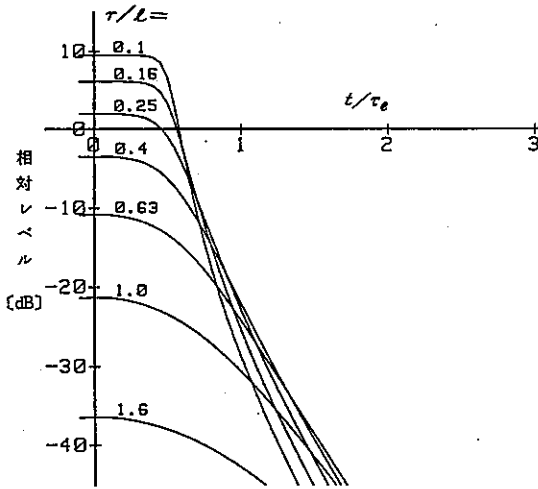
継続時間 τ [s] の通過時間 τ_e [s] に対する比は $E_i/E_M = 1/10$ になる r/l を求めることに等しい。

エ 全暴露量

$$\begin{aligned}
 J_{AES} &= \int_{-\infty}^{\infty} E_i dt \quad t = x/v, \tau_e = l/v \\
 &= \tau_e \int_{-\infty}^{\infty} E_i d(x/l) \\
 &= \tau_e \int_{-\infty}^{\infty} \frac{3W}{2\pi c} \frac{1}{l} \frac{(r/l)^2}{\{(r/l)^2 + (x/l)^2\}^2} \\
 &\quad - \frac{al}{10} \sqrt{(r/l)^2 + (x/l)^2} d(x/l) \dots (5)
 \end{aligned}$$

図2は騒音レベル瞬時値の時間的推移を示したもので、 al (a :過剰減衰率 [dB/m], l :列車長) = 20 dB とした場合 (例えば過剰減衰率 0.1 dB/m, 列車長 200 m) の時間的推移を相対レベルで示したものである。

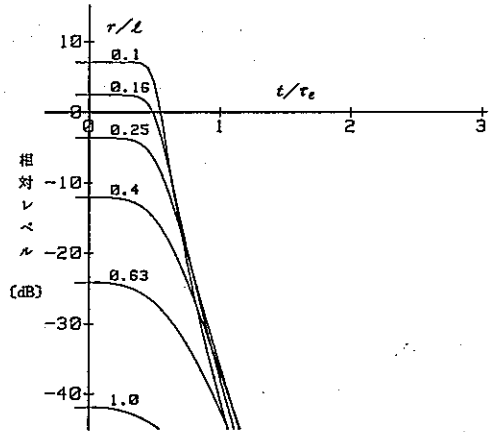
r/l が小さい値, すなわち近接点ほど急峻なレベル波形になり, 遠い点ではなだらかな山形になる。図3は $al = 40$ dB の場合で, 過剰減衰量が大きくなるとさらに急峻な形になってくる。これらに対し図4は過剰減衰のないモデルの時間的推移を示したもので, 過剰減衰がない



(1) $al = 20$ dB (a :過剰減衰率, l :列車長)

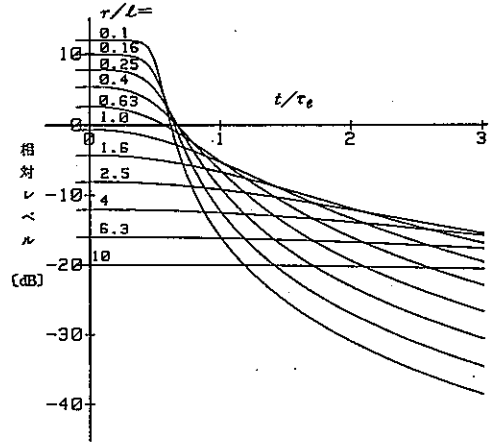
図2 鉄道騒音瞬時値の推移 (1)

ため列車が遠方点にいてもレベル低下が少なく, とくに距離 r/l が大きい離れた点では, 列車が遠方についてもレベル低下が極めて少ないことが分る。以上の図2~4は(3)式の $3W/2\pi cl$ を除いた値の比較であり, 図の相対レベルの値に次式の値を加えたものが音圧レベルとなる。



(2) $al = 40$ dB (a :過剰減衰率, l :列車長)

図3 鉄道騒音瞬時値の推移 (2)



(3) $al = 0$ dB (過剰減衰なし)

図4 鉄道騒音瞬時値の推移 (3)

$$10 \log \frac{W}{W_0} + 10 \log \frac{3}{2\pi} - 10 \log \frac{l}{l_0}$$

ただし, $W_0 = 1$ [pW/m], $l_0 = 1$ [m]

次にこの過剰減衰量のみについて, 過剰減衰量がないときを 0 dB として比較してみる。図5は LM の過剰減衰量が, 図6は LAE の過剰減衰量が線路から離れたほど増大していく傾向を示したもので, 両者はほぼ相似の傾向となるが, 両者の間には, 例えば $al = 20$ dB のとき $r/l = 1$ の点すなわち線路から列車長だけ離れたところで, 2~3 dB LAE の方が減衰量が大きくなるという違いがある。図7は前図の横軸の r/l を等間隔目盛で書き換えたもので, 過剰減衰量が直線的増加 ($al \cdot r/l$ [dB]) にならず, 傾向として住宅地内の距離 R

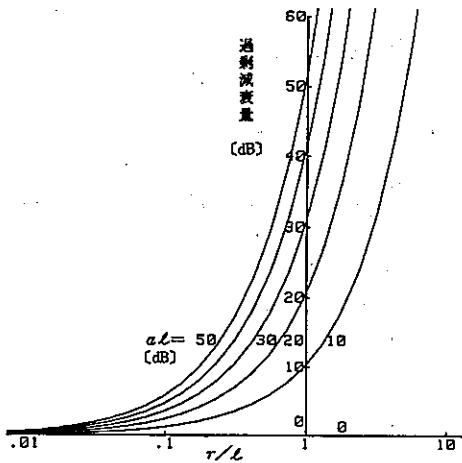


図5 L_M の過剰減衰量の距離による増加(1)

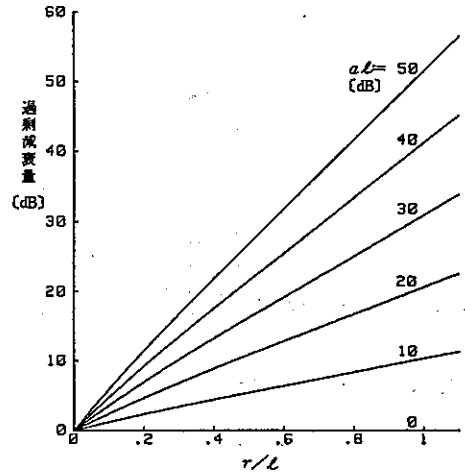


図7 L_M の過剰減衰量の距離による増加(2)

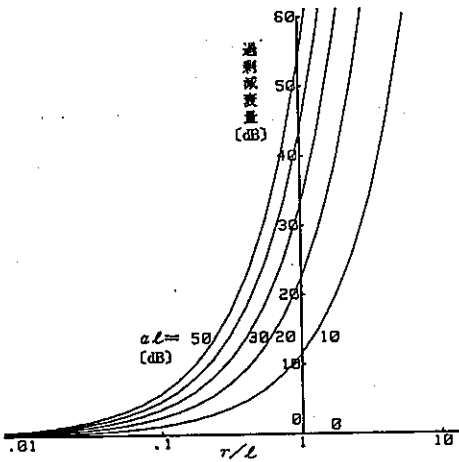


図6 L_{AE} の過剰減衰量の距離による増加(1)

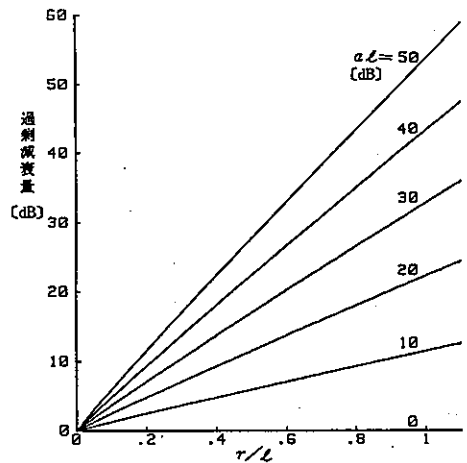
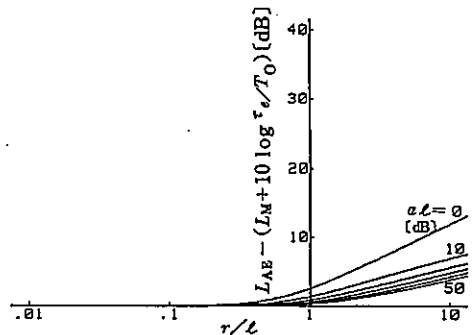


図8 L_{AE} の過剰減衰量の距離による増加(2)

[m]による減衰式として用いた $(1 - e^{-R/100})$ の形に近くなるとみられる。図8は L_{AE} の過剰減衰量を同様に書換えたもので、線路に近い範囲では L_M との差は極めてわずかといえる。図9は単発騒音暴露量の、最大値×通過時間に対する比、すなわち $L_{AE} - (L_M + 10 \log \tau_e / T_0)$ の値と距離との関係を示したもので、 $r/l = 1$ 以上、すなわち列車長以上離れたとき両者の差が開いていくが、列車長あたりの過剰減衰量が多いときは継続時間 τ が通過時間 τ_e より伸びることによる両者の差の開きは少ないことが分る。図10は継続時間の通過時間に対する比を $10 \log (\tau / \tau_e)$ で表わし、その距離変化を示した。これより過剰減衰がないとき ($\alpha l = 0 \text{ dB}$) は遠



注 τ_e : 通過時間, $T_0 = 1 \text{ s}$

図9 単発騒音暴露量の、最大値×通過時間に対する比

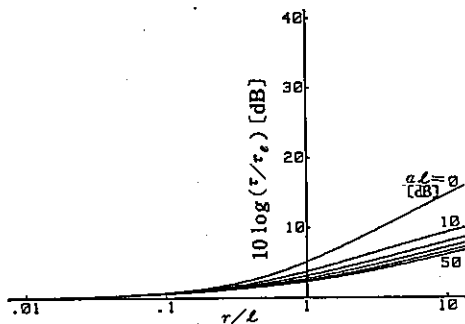


図10 継続時間/通過時間の距離変化

方ほど継続時間が長くなるが、過剰減衰があるときは遠方になっても継続時間の増加が少ないことが分る。図8, 9からみれば、都内の鉄道騒音で影響をとりあげ論議するのは線路近接点から数十mまでの範囲のことが多く、また列車長により τ/l の値は異なるが、おおむね1以下であるから、線路に近い点と離れた点での L_{AE} と $(L_M + 10 \log \tau_e / T_0)$ とのレベル差は極めて小さいといえる。

3 実測データによる評価指標の検討

前報の鉄道騒音住民意識調査における都内の国鉄、私鉄沿線15箇所の実測では、各箇所ごとに路地上、住宅地内の測定点約10地点の \bar{L}_M , Leq , L_{dn} 及び \bar{L}_{AE} のデータが求められているので、これを用い評価指標との関係を求めてみる。

(1) Leq_{24} と $\bar{L}_M + 10 \log N$ との関係

図11は Leq_{24} と $\bar{L}_M + 10 \log N$ との関係を平坦、高架について一例を示したもので、両者の対応は極めてよい。この場合 Leq_{24} は(2)式より求めているので、結果的には \bar{L}_M と \bar{L}_{AE} との対応がよいといえる。表1に $\bar{L}_M + 10 \log N = A \cdot Leq_{24} + B$ としたときの係数を一覧で示した。高架は平坦に比べ過剰減衰が小さいため、係数は平坦と高架でやや異なるものとみられる。平坦、高架別にまとめた関係式を図12に示したが、 Leq 40~70 dB の範囲では大きな違いはない。なお、ここで Leq の大きさは実際には線路からの距離に対応する。表2は単純に $\bar{L}_M + 10 \log N$ と Leq_{24} との差 C を求め、各調査箇所の平均値で示したが、総平均は平坦 41.8 dB に対し高架は 40.4 dB と過剰減衰が小さい高架の方が小さいが、両者

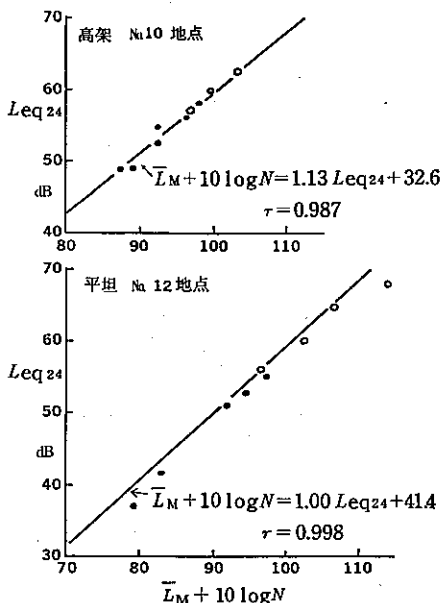


図11 Leq_{24} と $\bar{L}_M + 10 \log N$ との関係

表1 Leq_{24} と $\bar{L}_M + 10 \log N$ の関係

No.	平 坦			高 架			
	A	B [dB]	r	No.	A	B [dB]	r
2	0.98	43.5	0.995	1	1.07	37.2	0.993
6	1.07	40.6	0.994	3	1.05	36.6	0.981
7	0.99	42.5	0.999	4	1.12	35.5	0.995
8	0.97	43.5	0.996	5	1.16	32.0	0.994
11	1.04	38.6	0.998	9	1.13	33.2	0.997
12	1.00	41.4	0.998	10	1.13	32.6	0.987
13	1.01	41.2	0.995	14	1.11	34.5	0.989
15	1.06	36.4	0.997				
平均	1.02	41.0		平均	1.14	34.5	

(注) $\bar{L}_M + 10 \log N = A \cdot Leq_{24} + B$

の差は1 dB程度であるから、 Leq との関係式は高架を別扱いとせず、一つにまとめてよいと考えられる。

(2) L_{dn} と $\bar{L}_M + 10 \log (N_1 + 10 N_2)$ との関係

評価量として夜間の時間帯では10 dBのウェイトをかけた L_{dn} の方が、質問項目によっては住民反応との対応がよかったこともあるので、評価指標の中で昼間(7:00~20:00)の本数 N_1 に対し、夜間(22:00~翌7:00)の

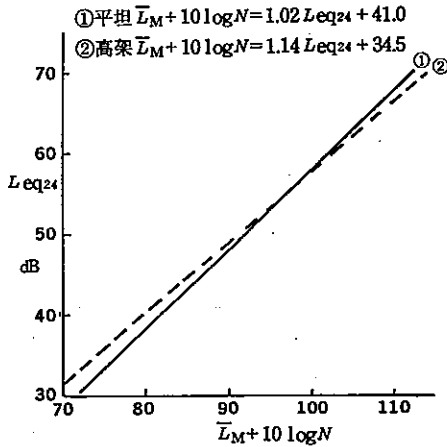


図12 Leq_{24} と $\bar{L}_M + 10 \log N$ との関係

表2 ($\bar{L}_M + 10 \log N$) と Leq_{24} との差 [dB]

平 坦			高 架		
№	\bar{C}	σ	№	\bar{C}	σ
2	42.4	0.89	1	41.0	0.67
6	43.9	1.36	3	39.6	0.80
7	41.9	0.66	4	41.6	1.27
8	42.3	0.96	5	41.0	0.96
11	40.7	0.74	9	40.1	0.86
12	41.4	0.58	10	39.6	1.01
13	42.1	0.93	14	39.9	0.97
15	39.9	1.00			
平均	41.8		平均	40.4	

本数 N_2 に重みをつけ $\bar{L}_M + 10 \log (N_1 + 10N_2)$ とし、 L_{dn} との関係を探った。表3に $\bar{L}_M + 10 \log (N_1 + 10N_2) = A \cdot L_{dn} + B$ とした係数を示したが、表では平坦と高架に差異があるようにみられる。しかし、平坦と高架それぞれの L_{dn} との関係式を示した図13によれば両者の違いは同様に L_{dn} 40~70 dBの範囲では小さい。表4に単純に $\bar{L}_M + 10 \log (N_1 + 10N_2)$ と L_{dn} との差の平均を示したが、(1)と同様平坦 41.9 dBに対し高架 40.3 dBとなる。 L_{dn} は夜間の等価騒音レベル L_N に10 dBの重みを加え、昼間の等価騒音レベル L_d とから計算し、直接 $10 \log (N_1 + 10N_2)$ を用いてないが、表1と表3、表2と表4はそれぞれ同様の値になっている。

表3 L_{dn} と $\bar{L}_M + 10 \log (N_1 + 10N_2)$ の関係

平 坦				高 架			
№	A	B [dB]	r	№	A	B [dB]	r
2	0.98	43.5	0.995	1	1.08	36.6	0.993
6	1.07	40.3	0.994	3	1.02	38.6	0.995
7	0.99	42.2	0.998	4	1.12	34.9	0.996
8	0.98	43.5	0.998	5	1.18	30.6	0.996
11	1.04	38.7	0.998	9	1.12	33.0	0.997
12	1.00	41.4	0.998	10	1.13	31.7	0.998
13	1.02	41.0	0.995	14	1.11	33.9	0.989
15	1.06	36.2	0.997				
平均	1.02	40.1		平均	1.11	34.2	

(注) $\bar{L}_M + 10 \log (N_1 + 10N_2) = A \cdot L_{dn} + B$

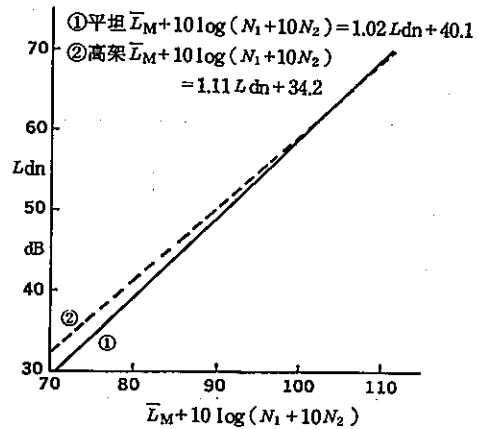


図13 L_{dn} と $\bar{L}_M + 10 \log (N_1 + 10N_2)$ の関係

(3) L_{AE} と L_M の差

\bar{L}_M と通過本数 N を用いた評価指標と Leq , L_{dn} との関係では、計算基礎とする \bar{L}_{AE} と \bar{L}_M との関係が重要であるので、使用した元データを整理してみる。図14は $\bar{L}_{AE} - \bar{L}_M$ の差を測定点の距離別にプロットしたもので、近距離における差を0 dBとすることによって図9に対応する。これより平坦では距離 R による変化はないとみられ、全データの平均では7.6 dBとなる。高架では距離 R (m) との関係式として $\bar{L}_{AE} - \bar{L}_M = 0.03R + 8.0$ (dB) で示されるように距離とともに広がる傾向とみ

表4 $[\bar{L}_M + 10 \log(N_1 + 10N_2)]$ と L_{dn} の差 [dB]

平 坦			高 架		
No	\bar{C}	σ	No	\bar{C}	σ
2	42.3	0.85	1	41.0	0.64
6	43.9	1.36	3	39.5	0.76
7	41.9	0.69	4	41.6	1.23
8	42.3	0.95	5	41.4	1.34
11	40.7	0.72	9	40.1	0.93
12	41.4	0.58	10	39.6	1.02
13	42.1	0.93	14	39.9	1.01
15	39.9	1.07			
平均	41.9		平均	40.3	

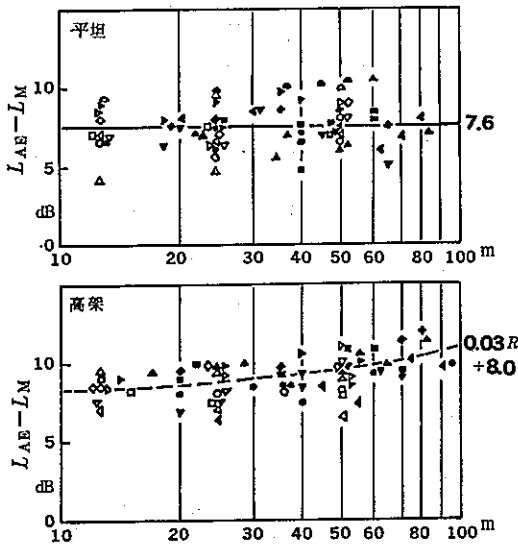


図14 L_{AE} と L_M の差

ることができる。しかし、12.5 m 点で 8.3 dB、25 m 点で 8.8 dB、50 m 点で 9.5 dB というように相対レベル差の距離による増加は小さい。

(4) $L_M + 10 \log(N_1 + 10N_2)$ と $\bar{L}_M + 10 \log N$ との差

夜間の時間帯の本数に重みをつけた評価指標は、総本数が同じでも夜間の本数が多い場合、又は総本数に占める夜間の本数の割合が大きく、夜間の本数を 10 倍した修正本数が大きい場合には、夜間の重みづけをしない場合より数値が大となる。この $10 \log(N_1 + 10N_2)$ と

$10 \log N$ との差は L_{dn} と L_{eq24} との差と同じになる。図15に $L_{dn} - L_{eq24} = 10 \log(N_1 + 10N_2)/N$ と N_2/N との関係を示した。全本数に占める夜間の本数が 1 割程度で L_{dn} は L_{eq24} より 3 dB 大きい値となる。表5は実測を行った地点における両者の差を示したもので、1日の運行回数 100 ~ 1000 本までの例が含まれるが、総体的には 3 ~ 4 dB とみられる。また本数の違いによる開きも 1 dB 程度の範囲とみることができる。

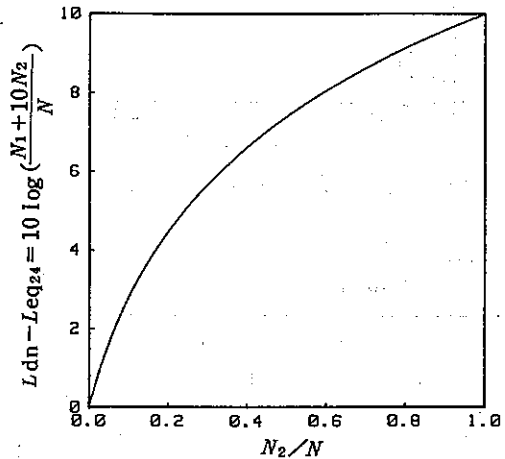


図15 $L_{dn} - L_{eq24}$ と夜間の本数の割合

表5 $\bar{L}_M + 10 \log(N_1 + 10N_2)$ と $\bar{L}_M + 10 \log N$ との差 [dB]

No	平 坦	No	高 架
2	3.4	1	3.4
6	4.1	3	3.1
7	4.0	4	3.6
8	4.3	5	3.3
11	3.2	9	3.2
12	4.0	10	3.2
13	3.5	14	4.2
15	3.7		

注 $L_{dn} - L_{eq24}$ に等しい

4 実務的な鉄道騒音評価指標

鉄道騒音の評価方法として L_{eq} による評価が望ましいが、その簡略な方法として \bar{L}_M と列車本数による指標を考えると、 L_{AE} と L_M の差を平坦では距離に拘らず

一定値として扱い、 L_M におきかえることは数値計算による検討と都内の在来線鉄道騒音の実測データによる検討から、沿線100m程度までの範囲なら可能といえる。高架については距離が離れるに従いピーク値の低下に反し継続時間が長めとなり、平坦とは異なると考えられたが、dB値での違いは小さく平坦と同様に扱った方が実用的には妥当といえる。一方列車本数については L_{dn} に代えて夜間の本数にウェイトをかけた $\bar{L}_M + 10 \log(N_1 + 10N_2) - A'$ の表わし方もある。これは特に夜間の本数がかかる割合になる路線では時間帯を重視した考え方として納得し易いが、 L_{dn} が L_{eq} に比べ住民反応との対応が極度に良いということでもないこと、都内の実測例では本数による差は1dB程度であること、実務上、1日の本数に加え時間帯別運行本数調査の煩雑さを考慮すると、 \bar{L}_M と1日の本数 N による指標の方が実際のといえる。

以上の検討から(1)式を評価指標としてとりあげ、定数 A の値としては42が妥当と考えられる。これは在来線鉄道騒音のピーク値 L_M と継続時間内のエネルギー平均値 L_E との差を2.6dB、継続時間を平均10秒とした扱いになるわけで、この点も従来の検討結果と合致する。従って、都内の在来線鉄道騒音の一般的評価方法として次の指標が妥当と考えられる。

$$\text{評価指標} = \bar{L}_M + 10 \log N - 42 \quad \dots\dots (6)$$

5 評価指標算出のためのピーク値 L_M の測定

(6)式を用い、ある路線の評価値を算出する場合、ピーク値 L_M 、列車本数 N の調査は、同じ路線でも列車種別に L_M のパワー平均、本数を調べ列車種別の評価値を求め、合算することが原則であるが、現場で列車種別に分け \bar{L}_M を求めるのは煩雑な場合がある。

表6は国電と列車が並行している国電側の測定点4地点における連続20本測定値による事例検討である。列車はさらに普通、急行、特急に分れるが、ここでは単に列車一区分として扱った。 \bar{L}_M は当然近接側の国電の方が高めとなり、 \bar{L}_M と N による評価指標も国電の方が高めである。総合指標の左欄は国電と列車の指標をエネルギー加算したもの、右欄は国電列車全体の \bar{L}_M と全本数による値である。1dB程度の差の例もあるが、おおむね両者は近い値となった。列車種別によって極端にレベルが異なる場合、列車本数が著しく異なるときは原則的方法

表6 鉄道騒音評価指標の算出方法比較

地点 No	ピーク値			鉄道騒音評価指標			
	国電 \bar{L}_{M1}	列車 \bar{L}_{M2}	総合 \bar{L}_M	国電 L_{R1}	列車 L_{R2}	総 L_{R3}	合 L_{R4}
1	80.3	77.5	79.3	65.7	62.3	67.2	67.3
2	74.9	71.2	73.4	60.2	55.9	61.6	61.4
3	75.9	71.7	75.5	61.2	56.5	62.4	63.5
4	86.2	80.9	84.3	71.5	65.6	72.5	72.3

注 $L_{R1} = \bar{L}_{M1} + 10 \log N_1 - 42$
 $L_{R2} = \bar{L}_{M2} + 10 \log N_2 - 42$
 $L_{R3} = 10 \log (10^{L_{R1}/10} + 10^{L_{R2}/10})$
 $L_{R4} = \bar{L}_M + 10 \log (N_1 + N_2) - 42$
 (N_1 = 国電本数, N_2 = 列車本数)

によるべきであるが、簡略的には通過列車全体の \bar{L}_M と全数 N から評価指標を計算してもよいと考えられる。

6. まとめ

鉄道騒音評価量として L_{eq24} の算出に代え、行政の現場で対応可能な実務の評価指標について理論式及び実測データによる検討を行ったが要点はつぎの通りである。

(1) \bar{L}_{AE} と \bar{L}_M の関係と過剰減衰についての有限長線音源モデルによる検討では、単位長あたりの過剰減衰量が多いときは、単発騒音暴露量の、最大値×通過時間に対する比の距離変化は少ない。特に線路から数十mまでは極めて小さい。

(2) L_{eq24} に代え平均ピークレベル \bar{L}_M と1日の運行本数 N による評価方法について、平坦と高架での区分、夜間本数の重みづけも検討したが、行政の現場での応用の視点もあわせると次の式によるのが妥当と考えられる。

$$\text{鉄道騒音評価指標} = \bar{L}_M + 10 \log N - 42$$

以上の検討に用いたのは、都内の国鉄、私鉄の電車が主体のデータである。従って夜間通して運行する路線、貨物線などへの適用は、なお検討の必要がある。

参 考 文 献

- 1) 中村信一他：鉄道沿線住民意識調査による検討、東京都公害研究所年報 (1985)
- 2) 石井聖光：道路騒音・鉄道騒音等の予測手法の現状、文部省科学研究費総合研究シンポジウム 広域複合騒音の諸問題 P9 (1985)

- 3) 今泉信夫他：鉄道騒音の単発騒音暴露レベルと L_{eq} 測定の考察，東京都公害研究所年報（1983）
- 4) 今泉信夫他：鉄道騒音最大値から L_{eq} への換算について，東京都公害研究所年報（1984）
- 5) 今泉信夫他：住宅地内の鉄道騒音 L_{eq} の一考察，東京都公害研究所年報（1985）