都市環境音における時間率騒音レベル(Lx)と等価騒音レベル(Leq)との関係

北 村 清 明　菅 野 菊 江*
(*前主任研究員)

要　旨

様々な場所で騒音レベルの測定を行い、時間率騒音レベル(Lx)と等価騒音レベル(Leq) の関係を調べた。Lxとしてどの値を用いるべきか、また、騒音レベルの分布関数としてどのような関数がふさわしいか、という2点に着目して検討を行った結果、

①LxとしてL_{95}やL_{90}を用いるとかなり誤差が大きいため、JISのZ8731に示されているLxとLeqの関係式を変形し、L_5とL_{50}の値からLeqを推測する式を導く必要があること

②LxとしてはL_5とL_{50}だけでなくL_1を導入することによりさらに誤差が減少すること

③騒音レベルの分布関数としては従来言われているような正規分布関数を用いた場合よりも、最高レベルから最低レベルまでの時間的存在確率が一様であるような分布関数を用いた場合のほうが誤差が小さいこと

がわかった。

このような検討を行い導いた4つの式はいずれも精度が高かったが、このうちもっとも精度が高い式を用いると、今回調査した28カ所での誤差が全て±0.6dB以内の範囲におさまる、というこれまでの予測式には見られない優れた結果が得られた。

The Relationship between Percentile Noise Level (Lx) and Equivalent Noise Level (Leq) on Ambient Sound in City

Kiyoaki Kitamura　and　Kikue Kanno*
*Ex　Chief Researcher

Summary

In this study, the relationship between Lx and Leq on ambient sound in city was investigated. The following points became apparent;

1. L_5 and L_{50} are suitable for the prediction of Leq. On the other hand, L_{90} and L_{95} that are used as parameters in JIS Z8731 are not found to be suitable.

2. The errors are reduced with the introduction of L_1 as well as L_5 and L_{50} as parameters.

3. The assumption that probability of all levels from maximum to minimum are equal leads to lesser errors than the assumption of normal distribution.

From the regression equations obtained using the above assumptions, it was observed that the errors between the predicted Leq and observed ones were within 0.6dB for the most accurate regression equation.

1 はじめに

昭和30年代以来、日本においては時間率騒音レベル(Lx)という統計的な値により騒音を評価し、環境基準もこれにより定めてきた。しかし、諸外国では近年、人間の主観と最も関連があると言われている等価騒音レベル(Leq) を騒音基準の評価値とする国が大多数を占めるに至っている。JIS においては、ISOの決定を受けて昭和58年に改正されたZ8731中でLeqについての言及があるが、これは測定法、算出法としてであり、依然として、法令ではLxが騒音評価の指標となっている。この原因の一つとして、騒音の苦情処理を担当する区市等の行政組織がLeqを測定するには機器の性能等により困難であったり、過去のデータとしてLxしか残っていない、等の理由が挙げられる。そのような状況下で、平成７年の国道43号線騒音訴訟においてLeqが騒音レベルの指標として採用されたことは、騒音行政に大きな波紋を投げかけた。そこで本研究では、主に過去のデータとして残っているLxをLeq へと変換することを目的として、都内での騒音実測結果に基づき、次の２点に着目して導いた４つのLeqの予測式の有用性を検討してみた。

①Leqを計算するためにどのLxを用いるのがふさわしいか。

②騒音レベルの分布関数として一般的な正規分布関数より単純で正確なものはないのか。

なお、前述のJISのZ8731においては、分布関数が正規分布関数である場合の簡便な予測式が示されているが、その他に提案されている予測式[1),2)]は複雑である、等の理由により行政に適用するには困難であると考えられる。

2 測定場所

表１に示す28カ所で測定を行った。これらの場所は、閑静な住宅地や公園、道路脇などの交通量の多い場所、さらには、商業地域や工業地域など、かなりバラエティに富んでいる。

3 測定方法

騒音レベルの測定は、JISのZ8731に基づいて行い、１カ所当たり100ずつの騒音測定値（サンプリングタイム５秒）を得た。全てのデータはＡ特性で重み付けられている。使用測定機器として、騒音計は㈱リオン製NL-10A、レベルレコーダーは㈱リオン製LR-04を用いた。

表１　28ヵ所のＬx及びＬeq（単位：dB）

測定場所	L_{95}	L_{50}	L_5	L_1	Leq
渋谷ターミナル駅周辺	67	70	73	79	70.7
恵比寿ガーデンプレイス	63	64	65	65	63.7
戸越銀座商店街	57	60	74	80	67.6
新橋駅西口ＳＬ広場	70	83	89	95	84.6
上野東京文化会館前	62	63	67	70	64.0
竹町児童遊園	48	53	64	77	60.7
竹の塚駅前	59	62	66	71	62.8
町屋三丁目	54	57	63	66	58.9
旧安田庭園	54	57	64	71	59.0
毛利二丁目	59	69	76	79	71.2
富岡一丁目	53	56	60	65	56.8
西葛西四丁目	66	78	84	87	79.3
小石川四丁目	64	66	73	81	68.9
高島平三丁目	48	51	57	64	53.0
東坂下一丁目	56	61	74	77	66.6
浮間三丁目	46	50	58	60	52.2
赤羽北二丁目	62	66	76	82	70.2
新宿区戸山二丁目	50	56	64	68	58.7
練馬区平和台三丁目	53	60	66	69	61.1
練馬区光が丘七丁目	59	65	77	79	69.7
豊島区巣鴨三丁目	55	59	63	69	59.9
杉並区西荻窪駅前	65	69	77	84	72.4
杉並区宮前五丁目	44	55	62	62	56.5
中野区若宮三丁目	58	62	70	71	64.0
新宿区西落合三丁目	38	41	48	52	42.7
世田谷区羽根木公園	46	52	64	67	56.6
世田谷区宮坂	40	45	56	62	49.5
世田谷区等々力二丁目	54	62	70	75	64.5

4 測定結果

各場所において測定したLx及びLeq を表１に示した。LeqはJISのZ8731で示されている計算式(1)により求めた。

$$Leq = 10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{\frac{L_i}{10}}\right) \quad (1)$$

5 考　察

(1)　正規分布に基づくLxからLeq の予測

Leq は次に示す式(2)で定義づけられている。この式は、騒音レベルL dBに対する時間的分布関数f(L)を用いると式(3)のように変形できる。この分布関数として、中間値をL_{50} 、標準偏差をσとする正規分布関数、式(4)

を用いると、式(5)が得られる。

$$Leq = 10\log_{10}\left(\frac{1}{t_1 - t_2}\int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L}{10}} dt\right) \quad (2)$$

$$Leq = 10\log_{10}\int_{-\infty}^{+\infty} 10^{\frac{L}{10}} f(L)dL \quad (3)$$

$$f(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(L - L_{50})^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

$$Leq = L_{50} + \frac{\log_e 10}{20}\sigma^2 \quad (5)$$

この式は、いくつか提案されているLxからLeqを予測する式の代表的なものであり、JISのZ8731に示されている。

JISのZ8731においては、騒音レベルの分布が正規分布に近似できる場合のLxからLeqを算出する式として、正規分布表より求まる式(8)、式(9)の関係を用いることにより式(5)から容易に導き出せる、式(6)、式(7)が示されている。これらの式が非対称分布には対応できないことはJIS中でも言及されているが、この理由はLeqの値にほとんど影響を与えないL_{95}やL_{90}を用いているためである。このことは今回の測定結果からも示される。

戸越銀座商店街での測定結果を例にとってみる。L_{50}とL_{95}の差は3dB、L_5とL_{50}の差は14dBであり、これらのLxの差を比較すると今回測定の28カ所中、もっとも歪みが大きい。式(6)を用いてLeqを計算すると63.1dBとなり、式(1)より求まる実測値、67.6dBと4.1dBもの差がある。この測定結果を次の2種類の方法で操作してみた。

$$Leq = L_{50} + \frac{1}{94}(L_5 - L_{95})^2 \quad (6)$$

$$Leq = L_{50} + \frac{1}{57}(L_{10} - L_{90})^2 \quad (7)$$

$$L_5 - L_{50} = L_{50} - L_{95} = 1.645\sigma \quad (8)$$

$$L_{10} - L_{50} = L_{50} - L_{90} = 1.282\sigma \quad (9)$$

①歪みをなくすために、L_{50}より小さい騒音レベルの分布関数をL_{50}より大きい騒音レベルの分布関数の対称形とした場合

②L_{50}より大きい騒音レベル（実際にはL_1～L_{47}）を1dBずつ小さくした場合

図１に示すように、累積度数分布曲線は見た目では(1)の曲線は元の曲線とかなり異なり、(2)の曲線は元の曲線とはほとんど変わらない。しかし逆に、式(1)より求めたLeqは(1)の曲線では元の曲線との差がわずか0.1dBであ

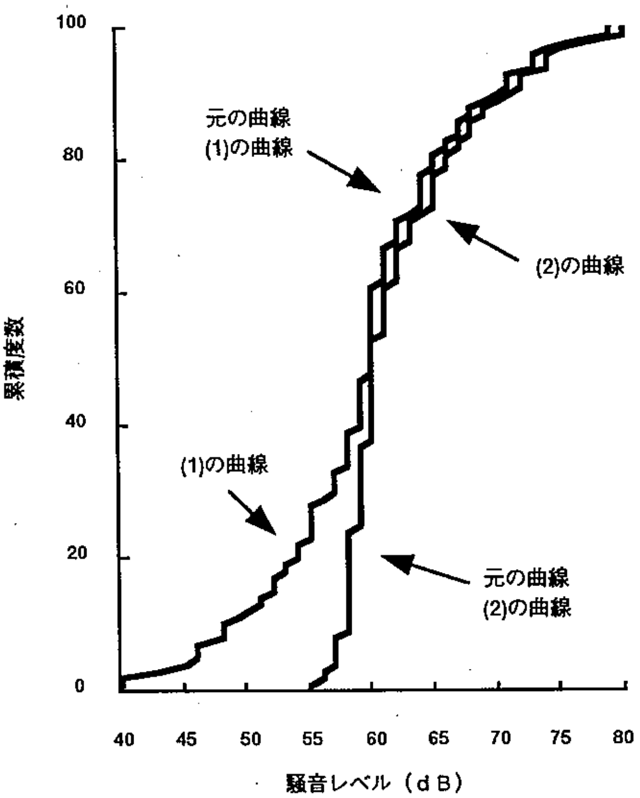

図１　戸越銀座商店街における
累積度数分布曲線

表２　３つの曲線のLx及びLeq（単位：dB）

	L95	L50	L5	Leq(1)	Leq(6)
元の曲線	57	60	74	67.6	63.1
(1)の曲線	46	60	74	67.5	68.3
(2)の曲線	57	60	73	66.7	62.7

るが、(2)の曲線では0.9dBであることが**表 2** より分かる。また、式(6)から計算したLeqは、(1)の曲線の場合には式(1)より求まる実測値とわずか0.8dBの差になる。

この(1)の曲線のように、分布曲線を対称形にすることにより式(6)を用いて計算した値の誤差が少なくなるということから、分布曲線の対称性にこの予測値が左右されてしまうことが改めて確認できた。そして、(1)の曲線から求めたLeqの予測値が実測値に近いことから、L_{95}やL_{90}を用いない予測式は精度が高いことが予想される。

式(5)と式(8)からは、式(10)のようなL_5とL_{50}のみからLeq を予測する式も容易に導かれる。計算値を後述する予測式から導かれるLeqと併せて**表 3** に示した。式(6)の場合、計算値と実測値との差が±１dB以内であるのは28カ所中15カ所に過ぎず、５dBもの誤差がある場所もある。それに対し、式(10)の場合、Leq の計算値と実測値との誤差は24カ所で±１dB以内であった。また、誤差の絶対値の平均値は、式(6)の場合1.34dBであるのに対し、式(10)の場合には0.55dBであった。これらの結果より式(10)の有用性は明らかであり、定常騒音や間欠騒音のようにポワソン分布のような非対称な分布や、歪みのある分布にも広く適用できると考えられる。実際に、今回測定した28カ所は閑静な住宅地や公園、道路脇などの交通量の多い場所、さらには、商業地域や工業地域など、かなりバラエティに富んだ音環境を有している。従って、JIS 中では式(6)や式(7)の代わりに、式(10)をLeqの予測式として採用することが望ましいであろう。

(2) 一様分布に基づくLxからLeq の予測

式(10)は、28カ所中24カ所でLeqの計算値と実測値との誤差は±１dB以内、という精度の高い予測式である一方、２dB以上の誤差がある計算値もあるため、予測式としての信頼性は万全とは言えない。そこで、騒音レベルの分布を別の回帰曲線に近似させることを試みた。

Lxは、騒音レベルを横軸に、累積度数を縦軸にしたグラフにより累積度数曲線を描くことにより求めることがしばしばあるが、この曲線が、L_{50}とL_5を通る直線である、と仮定してLeqを求めた。まず基本式として、式(11)が導き出せる。Leqは前述のように式(2)のように定義されているので、式(11)を用いると式(12)のように変形できる。この式(12)の積分を行うと式(13)が得られる。この式により求めたLeq と実測値を比較すると、28カ所中27カ所で±１dBであり、誤差の絶対値の平均値は0.46dBと、式(10)の場合の0.55dBよりも小さい。従って、この結果からは式(10)よりも式(13)の方がLeq の予測式としてより有用性が高いと言える。なお、式(13)を式(5)と同じ方法により導くには、f(L)として式(14)を用いればよいが、この分布関数は、最低レベルから最高レベルまでの時間的

$$\mathrm{Leq} = L_{50} + \frac{1}{23.5}(L_5 - L_{50})^2 \qquad (10)$$

$$\mathrm{Lx} = \frac{1}{45}(L_5 - L_{50})x + \frac{1}{9}(19L_{50} - 10L_5) \qquad (11)$$

$$\mathrm{Leq} = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{100}10^{\frac{1}{90}(19L_{50}-10L_5)}\int_0^{100} 10^{\frac{1}{450}(L_5-L_{50})x}\,dx\right\} \qquad (12)$$

$$\mathrm{Leq} = L_{50} + 10\log_{10}\left[\frac{1.95}{L_5-L_{50}}\left\{10^{\frac{1}{9}(L_5-L_{50})} - 10^{-\frac{1}{9}(L_5-L_{50})}\right\}\right] \qquad (13)$$

$$f(L) = \frac{9}{20(L_5 - L_{50})} \qquad L_{50} - \frac{10}{9}(L_5 - L_{50}) \le L \le L_{50} + \frac{10}{9}(L_5 - L_{50})$$

$$f(L) = 0 \qquad \text{それ以外} \qquad (14)$$

表 3　Ｌeq の実測値、計算値、及び、それらの差

測定場所	Leq(1)	Leq(6)	Leq(10)	Leq(13)	Leq(16)	Leq(17)	Ld(6)	Ld(10)	Ld(13)	Ld(16)	Ld(17)
渋谷ターミナル駅周辺	70.7	70.4	70.4	70.4	70.8	70.6	-0.3	-0.3	-0.3	0.1	-0.1
恵比寿ガーデンプレイス	63.7	64.0	64.0	64.0	64.0	63.5	0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2
戸越銀座商店街	67.6	63.1	68.3	67.0	68.4	67.2	-4.5	0.7	-0.6	0.8	-0.4
新橋駅西口ＳＬ広場	84.6	86.8	84.5	84.6	85.2	84.8	2.2	-0.1	0.0	0.6	0.2
上野東京文化会館前	64.0	63.3	63.7	63.7	63.8	63.4	-0.7	-0.3	-0.3	-0.2	-0.6
竹町児童遊園	60.7	55.7	58.1	57.7	60.9	60.6	-5.0	-2.6	-3.0	0.2	-0.1
竹の塚駅前	62.8	62.5	62.7	62.7	63.1	62.7	-0.3	-0.1	-0.1	0.3	-0.1
町屋三丁目	58.9	57.9	58.5	58.6	58.6	58.3	-1.0	-0.4	-0.3	-0.3	-0.6
旧安田庭園	59.0	58.1	59.1	59.1	59.9	59.6	-0.9	0.1	0.1	0.9	0.6
毛利二丁目	71.2	72.1	71.1	71.1	71.1	70.8	0.9	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4
富岡一丁目	56.8	56.5	56.7	56.7	57.1	56.7	-0.3	-0.1	-0.1	0.3	-0.1
西葛西四丁目	79.3	81.4	79.5	79.6	79.6	79.3	2.1	0.2	0.3	0.3	0.0
小石川四丁目	68.9	66.9	68.1	68.1	69.2	68.9	-2.0	-0.8	-0.8	0.3	0.0
高島平三丁目	53.0	51.9	52.5	52.6	53.3	53.1	-1.1	-0.5	-0.4	0.3	0.1
東坂下一丁目	66.6	64.4	68.2	67.2	67.2	66.9	-2.2	1.6	0.6	0.6	0.3
浮間三丁目	52.2	51.5	52.7	52.7	52.4	52.3	-0.7	0.5	0.5	0.2	0.1
赤羽北二丁目	70.2	68.1	70.3	70.0	70.8	70.2	-2.1	0.1	-0.2	0.6	0.0
新宿区戸山二丁目	58.7	58.1	58.7	58.7	58.9	58.5	-0.6	0.0	0.0	0.2	-0.2
練馬区平和台三丁目	61.1	61.8	61.5	61.6	61.6	61.3	0.7	0.4	0.5	0.5	0.2
練馬区光が丘七丁目	69.7	68.4	71.1	70.4	70.0	70.0	-1.3	1.4	0.7	0.3	0.3
豊島区巣鴨三丁目	59.9	59.7	59.7	59.7	60.2	60.0	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.1
杉並区西荻窪駅前	72.4	70.5	71.7	71.7	72.6	72.2	-1.9	-0.7	-0.7	0.2	-0.2
杉並区宮前五丁目	56.5	58.4	57.1	57.1	56.5	56.6	1.9	0.6	0.6	0.0	0.1
中野区若宮三丁目	64.0	63.5	64.7	64.7	64.2	64.2	-0.5	0.7	0.7	0.2	0.2
新宿区西落合三丁目	42.7	42.1	43.1	43.1	43.3	42.9	-0.6	0.4	0.4	0.6	0.2
世田谷区羽根木公園	56.6	55.4	58.1	57.4	57.4	57.1	-1.2	1.5	0.8	0.8	0.5
世田谷区宮坂	49.5	47.7	50.1	49.7	50.6	49.9	-1.8	0.6	0.2	1.1	0.4
世田谷区等々力二丁目	64.5	64.7	64.7	64.7	65.1	64.7	0.2	0.2	0.2	0.6	0.2
平均値	–	–	–	–	–	–	-0.74	0.11	-0.04	0.36	0.02
絶対値の平均値	–	–	–	–	–	–	1.34	0.55	0.46	0.40	0.23

Leq(1) : 式(1)より計算したLeqの実測値
Leq(6) : 式(6)より計算したLeqの計算値
Leq(10) : 式(10)より計算したLeqの計算値
Leq(13) : 式(13)より計算したLeqの計算値
Leq(16) : 式(16)より計算したLeqの計算値
Leq(17) : 式(17)より計算したLeqの計算値
Ld(6) : Leq(6)-Leq(1)
Ld(10) : Leq(10)-Leq(1)
Ld(13) : Leq(13)-Leq(1)
Ld(16) : Leq(16)-Leq(1)
Ld(17) : Leq(17)-Leq(1)

存在確率が等しい、ということ（ここでは仮に一様分布と言う。）を表している。このような分布状態がしばしば現れる分布状態であるとは考えにくいが、ここで示した結果から単純に考えると、正規分布よりもより真実の状態に近い分布関数であると推測される。

(3)　3つのLxを用いたLeq の予測

ここまでは、L_{50}とL_5のみからLeq を予測する式について検討してきたが、Leqの値には騒音レベルが高い領域での測定値が大きな影響を与えるので、L_5よりも騒音レベルが高い測定値がL_{50}とL_5の値にあてはめた回帰曲線からはずれればはずれるほど、Leqの予測値と実測値の間には誤差が大きくなる。そこで、この誤差のLxに対する依存性を調べるためL_1とL_5の差を横軸に、誤差を縦軸にして、図2にプロットした。この図より、式(10)の場合でも式(13)の場合でも大まかにはL_1とL_5の差が大きくなるとLeqの予測値から実測値を引いた値が小さくなっていくことがわかる。

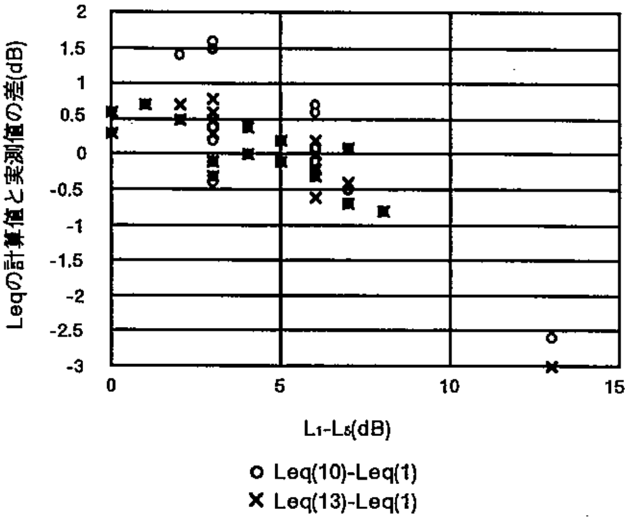

図2　Leqの計算値と実測値の差とL_1-L_5との関係

図2より、さらに高い精度でLeq を予測するにはL_5とL_{50}だけでなく、他のLxの値の導入も必要であることがわかる。そこで、L_1も加えた3つのLxの値からLeqを予測することを考えてみることとする。

ア　正規分布に基づく3つのLxからのLeq の予測

ここでは式(5)に示されている標準偏差に着目する。この標準偏差は正規分布表からL_{50}とL_5の関数として式(8)で表されるが、同様にL_{50}とL_1の関数としては式(15)として表される。式(5)に代入する標準偏差として、式(8)と式(15)から得られる標準偏差の相乗平均値を用いると、式(16)が得られる。この式から計算したLeqを**表3**に示す。Leqの予測値から実験値を引いた値は＋1.1dB から－0.3dBの間に入っており、誤差の絶対値の平均値も0.40 dBと、式(10)の場合の0.55dBよりも小さくなっている。

イ　一様分布に基づく3つのLxからのLeq の予測

式(13)にL_1を導入するに当たっては、単純に図2の補正を試みた。図2において、誤差が(L_1-L_5)の2次関数で表されると仮定して式(17)を導いた。**表3**に示すようにLeqの予測値から実験値を引いた値は全て±0.6dBの間に入っている。誤差の絶対値の平均値も0.23dBであり、式(13)の場合の0.46dBよりも小さい。

ウ　3つのLxからLeqを予測する2つの式の比較

上に述べたように、式(16)、式(17)を元となる式(10)、式(13)と比べると、誤差の平均値が小さくなり、全ての誤差が許容できる範囲内に入っていることから、かなり精度の高い式であると思われる。これらの2式を比較すると、式(16)ではLeqの予測値から実験値を引いた値の平均値が0.36dBと、＋側に偏っているのに対し、式(17)の場合には0.02dBと、誤差が＋－両側にまんべんなく散らばっている。また、誤差の絶対値の平均値は式(16)では0.40 dBであるのに対し、式(17)ではさらに小さく、0.23dBとなった。これらのことから、今回比較を行ったLeq の予測式の中では、式(17)が、少なくとも今回調査の28カ所については、最も有用性のある式であると言えよう。

$$L_1 = L_{50} + 2.327\sigma \qquad (15)$$

$$Leq = L_{50} + 0.03(L_5 - L_{50})(L_1 - L_{50}) \qquad (16)$$

$$Leq = L_{50} + \frac{1}{50}(L_1 - L_5)^2 + 10\log_{10}\left[\frac{1.74}{L_5 - L_{50}}\left\{10^{\frac{1}{9}(L_5-L_{50})} - 10^{-\frac{1}{9}(L_5-L_{50})}\right\}\right] \qquad (17)$$

6　おわりに

今回、LeqをLxの値から計算することを目的として、JISのZ8731に示されている式から導かれる式を含む4つの式を比較検討した。その結果、L_{50}とL_5のみからLeqを求める式よりも、L_{50}、L_5、L_1の3つの値からLeqを求める式の方が誤差が少なかった。しかし、L_1とL_5の差が小さい場合には、L_{50}とL_5からLeqを求める式を用いてもそれほど大きな誤差は生じなかった。

また、騒音レベルの分布関数が正規分布関数であると仮定した場合よりも、一様分布であると仮定した場合の方が、誤差も小さく、誤差のばらつきも一様であるようなLeq の予測式が得られた。今回のように一般的な音環境を考えた場合、この結果からは、このように騒音レベルの最高値から最低値までが同じ確率で発生するような音環境が、従来言われているような正規分布よりも真の分布状態により近い、という解釈が出来る。今回は分布関数に関する詳細な考察は行わなかったが、時間と空間をともに考慮しながら音の発生確率を理論的に考察することにより、さらに普遍性のあるLeqの予測式へと展開させていくことが可能ではないだろうか。

引用文献

1）D.G.Don and I.G.Rees：Road Traffic Sound Level Distributions,Journal of Sound and Vibration, **100**,(1),p.41-53(1985).

2）中迫昇ら： 騒音変動の階層型分布表現に基づくLxからLeqへの実用的予測法，日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，p.309-312(1995).