道路交通騒音のピークレベルパターンを利用した 除外音検出法の提案*

林 貴史[†]・北川 保[†]・加藤 裕一[‡]

A Proposal of the Method for Detecting Non-Existent Abnormal Sounds in the Road Traffic Noise by Use of Peak Level Patterns*

Takashi HAYASHI[†], Tamotsu KITAGAWA[†] and Yuichi KATO[‡]

The new index L_{Aeq} of the environmental noise has the problem that the measured value is strongly influenced by the temporal and/or unexpected sounds of the high noise level and fluctuates unstably. This paper focuses on the road traffic noise as an example of the noise and proposes a method for detecting such non-existent sounds from the great amount of measured data. Concretely, random variables characterizing the object of study are introduced and their distribution function is derived from empirical knowledge. After confirming the validity of this study by the simulation experiment, the function is applied to the actually measured data in order to investigate the availability of statistically detecting the abnormal sounds.

1. はじめに

環境音の評価指標と環境基準が平成10年9月に改定された。この改定は従来の騒音レベル変動の中央値 L_{50} に代わって、平均エネルギーレベル L_{Aeq} を用いて環境基準を設定するものである。この L_{Aeq} は騒音の平均エネルギーをデシベル変換したものであり、物理的意味が明確であるほかに、人間の感性との対応が比較的良好ことから、国際的に一般化している [1]。以来、今日まで自治体等の環境音のモニタリングによるデータの蓄積や大規模な開発に伴う環境アセスメントは、この L_{Aeq} 値を利用して行われている。

しかしながら、次に記す新評価指標 L_{Aeq} の計測上の問題点が、上記事業による L_{Aeq} の計測を通して次第に明らかとなった。それは L_{Aeq} が元来もつ性質であるが、その地域を代表する環境音というよりは、一過性・突発

性の高レベル音の影響を受けて、 L_{Aeq} 計測値が不安定になりやすいことである。この問題点は改定前にはあまり深く考慮されていなかったようである。事実、環境省は測定マニュアル [2] において、このような除外音の種類と除外操作規定を設けているが、実行するには、この作業は非常に煩雑であり困難を極める。たとえば、一日24時間、0.1[s]ごとに環境音を自動測定している場合、大量の測定データの中で、どの測定値が除外音かといった判別作業はほとんど不可能である。このため、ある自治体では、計測レベルデータのうち、上位数パーセントを無条件に外れ値として除外し L_{Aeq} 値を算定している [3] が、環境音の変動性状を調査することなく、このような処理を行うことには多くの批判がある [4]。

本論文では、環境音の一例として、道路沿道で観測される道路交通騒音を取り上げて、この騒音のレベル変動特性に基づく除外音検出手法を提案する。具体的には、考察の第一歩として音の伝搬環境に壁や塀などのような障害物のない2車線の単純な道路状況を想定し、この道路端で観測される騒音の特徴付けをレベル変動性状、とくに走行車両が形成するピーク形状に着目して行う。これは上記のように L_{Aeq} 計測に及ぼす影響は、高レベル値となるピークレベルであるためである。具体的には、ピーク形状の特徴を代表する変量とその分布関数を導出し、統計的な検出法を提案している。考察の正当性をシミュレーション実験により検討した後、実測データに適

* 原稿受付 2003年1月27日

[†] (株)ゼット音響設計事務所 Z Acoustic Design Office; 1-19-2 Mattaohmiya, Tsurumi-ku, Osaka 538-0003, JAPAN

[‡] 島根大学 総合理工学部 Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University; 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue city, Shimane 690-8504, JAPAN

Key Words: L_{Aeq} (equivalent sound level), detecting non-existent abnormal sounds, road traffic noise, peak level patterns, simulation experiment.

用して、本手法の有効性を検討している。

2. 環境音の新評価指標と計測上の問題点

Fig. 1 は環境アセスメント作成のために、道路端で交通騒音を 1 時間、サンプリング時間 $t_s = 0.2[s]$ で計測したデータセット $\{L(n)|n=1, \dots, N, N=18000\}$ を示した一例である。新しい評価指標 L_{Aeq} は、次式により算定される。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{L(n)/10} \right) \quad (1)$$

ここで、 $L(n) = 10 \log_{10}(I(n)/I_0)$ 、 $I(n)$ は n 時点での A 特性音圧の音の強さ $[W/m^2]$ 、 $I_0 = 10^{-12} [W/m^2]$ である。

Fig. 1 An example of measured data of a road traffic noise

(1) 式から新評価指標 L_{Aeq} は高レベルデータの影響を強く受けることがわかる。たとえば、Fig. 1 中に示すデータ A を除外音として算定すれば、 L_{Aeq} は $66.7[dB(A)]$ から $64.9[dB(A)]$ に推移する。わずか $2[dB(A)]$ 程度であるが、環境基準の地域区分によっては $65[dB(A)]$ 以下と規定 [5] されており、基準を満足するか否かの議論に発展する。また、同図中 B, C, D といった観測音は、除外音として処理すべきか否かといった心配もある。実際にはこのような除外音は、車両の警笛音、緊急車両の警告音、街宣車両の発生音、改造車両による爆音、虫・動物の鳴き声、建設作業音などであったりする。一方、旧来の評価指標 L_{50} はデータの中央値であり、このような数個の高レベルデータの影響をほとんど受けないことは明らかである。

本論文は大量観測データから、より明確な統計的除外音判定基準を設定し、除外音を検出して安定した L_{Aeq} を測定する手法を提案する。すなわち、まず騒音観測状況とレベル変動モデルを導入する。ついで Fig. 1 に示すような自動観測レベルデータのうち、 L_{Aeq} の算定に影響を及ぼすピークレベルの統計的性質を明瞭化する。この統計的性質を利用すれば、変動波形のみからでも道路交通騒音とは考えにくい高レベル音測定箇所を検出・推定することが可能となる。

3. 観測モデルの設定

Fig. 2 に道路交通騒音観測状況を示す。対象道路は、1) 防音壁などの障害物のない片側一車線・直線道路とする。2) 騒音の観測地点は、この道路の車線中心まで $d_1[m]$ 、 $d_2[m]$ であり、観測の高さを $h[m]$ とする。これは文献 [2] に挙げたマニュアルに従い“地面以外の反射物から $3.5[m]$ 以上離れた位置”を観測点としている。

Fig. 2 Observation model

このような道路状況で一台の車両が通過したことによるレベル変動パターンを模式的に示したものが Fig. 3 である。これをユニットパターンとよび、車両が観測点の最近点を通過した辺りでピークレベル $L_P[dB(A)]$ を形成する。さらに、この前後 $\delta t[s]$ 経過後にはピークレベルは、 $\Delta L[dB(A)]$ 減衰するとする。いま単純化して考察するために、車両は、その大きさを無視して半自由空間の点音源とする（以降このモデルを質点モデルとよぶ）と、第 i 車線通過車両の L_P 、 ΔL は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} L_P &= L_W - 10 \log_{10} 2\pi - 10 \log_{10} d^2(i) \\ &= L_W - 8 - 10 \log_{10} d^2(i) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\Delta L = 10 \log_{10} \left(1 + \left(\frac{V \delta t}{3.6 d(i)} \right)^2 \right) \quad (3)$$

ここで、 $d^2(i) = d_i^2 + h^2$ 、 L_W は通過車両の A 特性音響パワーレベル（以下、単にパワーレベルと記す）、 V は車両速度 $[km/h]$ である。本論文では、計測データの L_P 、 ΔL に着目した検出法を提案する。このためユニットパターンが明確に観測される道路状況 d_1 、 d_2 は十数 m を考察対象範囲としている。したがって伝搬に影響を及ぼす地表面効果（地表面の吸音率）は特に考慮していない。

Fig. 3 Unit pattern and an objective variable

4. 車両走行速度の変動とパワーレベル変動の影響

実道路で観察される車両速度 V やパワーレベル L_W は様々に変動し、ばらつきを持って観察される。ここで

はこのばらつきを分布モデルで記述し、 L_P , ΔL の従う分布を導出する。

まず L_W は大型車両 (heavy vehicle) ($j=1$) と小型車両 (light vehicle) ($j=2$) で区分され、それぞれ次式に記す正規分布に従っているとすると、

$$\begin{aligned} L_W &\sim N(\mu_{LW}(j), \sigma_{LW}^2(j)) \\ &= N(b(j) + 30\log_{10} V, \sigma_{LW}^2(j)) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで $b(j)$ は定数である。このモデルは、文献 [1] において、各車種区分で大量のパワーレベル実測データが観測され、これに基づき (4) 式に示すような $30\log_{10} V$ 型の回帰式とその分散が示されていることから、分布形状を第一次近似的に正規分布型と設定したものである。すなわち、たとえば大型車両区分においても、バス、トラック、ダンプ車等の車種や積載量等による L_W のばらつきと車両速度 V の増加による L_W の増加を配慮したものである。同様に車両速度 V のばらつきも第一次近似的に正規分布：

$$V \sim N(\mu_V, \sigma_V^2) \quad (5)$$

に従っていると仮定する。

(4), (5) 式の関係をも (2) 式に代入すれば、

$$\begin{aligned} L_P &= b(j) + \sigma_{LW}(j)z_{LW} + 30\log_{10}(\mu_V + \sigma_V z_V) \\ &\quad - 8 - 10\log_{10} d^2(i) \end{aligned} \quad (6)$$

となる。ここで、 $z_{LW} \sim N(0, 1^2)$, $z_V \sim N(0, 1^2)$ としている。 z_{LW} と z_V は互いに独立である。(6) 式右辺第 3 項の z_V がほとんど $|z_V| \leq 3$ 程度で収まることを考慮して近似すると次式となる。

$$\begin{aligned} L_P &= b(j) + \sigma_{LW}(j)z_{LW} + 30\log_{10}(\mu_V) \\ &\quad + \frac{30}{\ln 10} \cdot \frac{\sigma_V}{\mu_V} \cdot z_V + D(i) \end{aligned} \quad (7)$$

ここで $D(i)$ は幾何減衰量で、 $D(i) = -8 - 10\log_{10} d^2(i)$ である。同様に (3) 式の ΔL も次式で近似できる。

$$\Delta L = 10\log_{10}(a^2(i)\mu_V^2 + 1) + \frac{20}{\ln 10} \cdot \frac{a^2(i)\mu_V\sigma_V}{a^2(i)\mu_V^2 + 1} \cdot z_V \quad (8)$$

ここで、 $a(i) = \delta t / 3.6d(i)$ である。

以上 (7), (8) 式をまとめると、 L_P , ΔL の平均は、

$$\begin{bmatrix} \mu_P \\ \mu_\Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b(j) + 30\log_{10}\mu_V + D(i) \\ 10\log_{10}(a^2(i)\mu_V^2 + 1) \end{bmatrix} \quad (9)$$

となり、 L_P , ΔL は次式に記す二次元正規分布となる。

$$\begin{bmatrix} L_P \\ \Delta L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{LW}(j) & \frac{30}{\ln 30} \cdot \frac{\sigma_V}{\mu_V} \\ 0 & \frac{20}{\ln 10} \cdot \frac{a^2(i)\mu_V\sigma_V}{a^2(i)\mu_V^2 + 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{LW} \\ z_V \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \mu_P \\ \mu_\Delta \end{bmatrix} \quad (10)$$

とくに L_P と ΔL の標準偏差 σ_P , σ_Δ はそれぞれ次式となる。

$$\sigma_P = \left\{ \sigma_{LW}^2(j) + \left(\frac{30}{\ln 30} \cdot \frac{\sigma_V}{\mu_V} \right)^2 \right\}^{0.5} \quad (11)$$

$$\sigma_\Delta = \frac{20}{\ln 10} \cdot \frac{a^2(i)\mu_V\sigma_V}{a^2(i)\mu_V^2 + 1} \quad (12)$$

5. シミュレーション実験による検討

5.1 質点モデルの検討

4. で考察の正当性の一端を確認するためにシミュレーション実験を行った。実験の設定は次の通りである。

Figs. 2, 3 において $d_1 = 3.5[\text{m}]$, $d_2 = 6.3[\text{m}]$, $h = 1.5[\text{m}]$, $\delta t = 0.5[\text{s}]$, 第一車線, 第二車線の交通量 Q_1 , Q_2 と大型車混入率 θ_1 , θ_2 は共通として、それぞれ $Q_1 = Q_2 = Q = 200[\text{台/h}]$, $\theta_1 = \theta_2 = \theta = 0.3$ とした。パワーレベルに関しては $(b(1), \sigma_{LW}^2(1)) = (52.2, 2.91^2)$, $(b(2), \sigma_{LW}^2(2)) = (45.8, 2.82^2)$ と設定した [6]。なお、排水性舗装区間、道路勾配を考慮しなければならない区間、加速度区間でのパワーレベルに関する設定はそれぞれ文献 [1], [7], [1] を参照して $\mu_{LW}(j)$, $\sigma_{LW}^2(j)$ を設定すればよい。

各車両は、両車線とも同一の速度分布に従うとし、平均車頭間隔 $\lambda = 1000\mu_V/Q[\text{m/台}]$ の指数分布に従って走行させた。

Fig. 4 は $(\mu_V, \sigma_V^2) = (40, 1.5^2)$ と設定した一例である。同図上部右側より、第一車線の大型車両, 小型車両, 下部に第二車線の車両が同様に分布する。これは (2), (3) 式からもわかるが、近車線 (第一車線) の L_P , ΔL が遠車線 (第二車線) のそれより大きく現れると直感的に理解できる。各車種 ($i=1, 2$) ・車線 ($j=1, 2$) の理論値 ((9), (10) 式) とシミュレーション値を平均・標準偏差で比較したものが Table 1 である。各車線・車種で理論値はシミュレーション値とよく一致していることがわかる。

Fig. 4 Distribution map of $L_P - \Delta L$ ($\mu_V = 40[\text{km/h}]$, $\sigma_V = 1.5[\text{km/h}]$)

Table 1 Average and standard deviations of L_P , ΔL ($\mu_V = 40[\text{km/h}]$, $\sigma_V = 1.5[\text{km/h}]$)

車線	車種	L_P				ΔL			
		シミュレーション結果		理論値		シミュレーション結果		理論値	
		μ_{L_P}	σ_{L_P}	μ_{L_P}	σ_{L_P}	μ_{Δ}	σ_{Δ}	μ_{Δ}	σ_{Δ}
近車線	大型	80.6	2.95	80.9	2.92	5.3	0.33	5.1	0.23
	小型	75.1	3.07	74.5	2.84	5.0	0.56	5.1	0.23
遠車線	大型	76.9	2.92	76.1	2.92	2.6	0.32	2.4	0.21
	小型	70.4	3.29	69.7	2.84	2.4	0.32	2.4	0.21

同様に $(\mu_V, \sigma_V^2) = (60, 4.0^2)$ と設定して検討したものが, Fig. 5, Table 2 である. 車両速度のばらつきを大きくした影響は, ΔL のばらつきに現れ, Fig. 4 と比較して車線間の境界がわからなくなるほどとなっている. 理論値 (Table 2) は Table 1 と同様にシミュレーション値とよく一致しており, 3. で考察の正当性の一端がうかがわれる.

Fig. 5 Distribution map of $L_P - \Delta L$ ($\mu_V = 60[\text{km/h}]$, $\sigma_V = 4.0[\text{km/h}]$)

Table 2 Average and standard deviations of L_P , ΔL ($\mu_V = 60[\text{km/h}]$, $\sigma_V = 4.0[\text{km/h}]$)

車線	車種	L_P				ΔL			
		シミュレーション結果		理論値		シミュレーション結果		理論値	
		μ_{L_P}	σ_{L_P}	μ_{L_P}	σ_{L_P}	μ_{Δ}	σ_{Δ}	μ_{Δ}	σ_{Δ}
近車線	大型	86.3	2.53	86.2	2.97	8.4	0.52	7.8	0.48
	小型	80.3	2.50	79.8	2.88	8.0	0.84	7.8	0.48
遠車線	大型	81.4	2.68	81.3	2.97	4.5	0.45	4.2	0.36
	小型	76.3	3.18	74.9	2.88	4.5	0.61	4.2	0.36

Fig. 6 には一例として (9) 式の μ_V をパラメータとした (μ_P, μ_{Δ}) の軌跡を $40 \leq \mu_V \leq 80[\text{km/h}]$ の範囲で示しており, 同時に除外音の一例も $\times$ で示している. 図中 A で示した除外音は $(\mu_V, \sigma_V) = (80, 4)[\text{km/h}]$ として (11) 式で求めた σ_P の 3 倍を超えており, 推計される車速に対して音響パワーが理論上のばらつきに対して十分に大きい値である. また, B で示した除外音は同じ車速に対して (12) 式で求めた σ_{Δ} の 3 倍を超えており, 推計される走行速度が十分に大きい値である (第一種の過誤 1% 未満).

Fig. 6 Distribution of $\mu_P - \mu_{\Delta}$ and exclusion range ($V \sim U[40,80]$) (solid line: 1st lane & heavy vehicle, chain line: 1st lane & light vehicle, broken line: 2nd lane & heavy vehicle, dotted line: 2nd lane & light vehicle)

Fig. 7 Sound source position of rigid model

5.2 剛体モデルの検討

4. では現象の大略を把握する目的から, 車両の大きさを見逃し, すなわち点音源として単純化して考察した. しかしながら, 5.1 で検討したような近車線までの距離が数メートルといった箇所では観測する場合には, 車両の大きさ, すなわち音源の分布は無視できない. ここでは Fig. 6 に示すように観測音の主要部はタイヤ音としてモデル化する. 以後このモデルを質点モデルに対して剛体モデルとよぶ.

Table 3 に今回採用した各車両の音源位置を示す [8]. このパラメータを利用し, Fig. 8 には車線までの距離 d をパラメータとして, 質点モデルと剛体モデルのユニットパターンを示している. ここで剛体モデルのものは, 質点モデルの音響パワーを各タイヤ音に等分配して算定している. 同図より剛体モデルのユニットパターンは, 質点モデルのそれと比してなだらかな変化を示し, ΔL は小さくなるが, $d = 9[\text{m}]$ 程度離れると, 両モデルともにそれほど大差ないことがわかる. 逆にこれより近距離で観測する場合には, 何らかの音源位置の分布を考慮しなければならないことがわかる.

Table 3 Sound source position of rigid model

	[単位: dB]	
	L	W
大型車	4.5	2.3
小型車	2.8	1.7

Fig. 8 Unit pattern of particle model (dotted line) and rigid model (solid line)

そこで、剛体モデルを利用する場合には質点モデルを d との関連で補正して利用することを考える。具体的には各車種ごとに、剛体モデルのユニットパターンを利用して $40 \leq \mu_V \leq 80$ [km/h] の範囲でシミュレーションし、その平均値 ($\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta$) をプロットし、一方で質点モデルの (9) 式を同範囲で比較した。Fig. 9 はその一例を示したものである。同図で質点モデルの ($\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta$) は Fig. 5 に示したようにほぼ直線となるので、両端の線分で近似した破線で示している。一方剛体モデルのものはシミュレーション値であるのでばらついているが、これを回帰直線で代表して実線で示している。(9), (10) 式に対応する剛体モデルの分布の簡易な補正法の一つとして回帰直線に (μ_P, μ_Δ) を移動して利用することを提案する。同図中に示した移動パラメータ $r_1 (\mu_V = 40)$, $r_2 (\mu_V = 80)$ を代表的な d について算定し、まとめたものが Table 4 である。他の速度ではこれを補間して利用すればよい。同表から次の傾向が読み取れる。1) μ_P は $-2 \sim 0$ [dB(A)] とあまり変化しない。とくに $d = 6$ [m] 以上では 0 [dB(A)] である。2) μ_Δ は車両速度が低く、大型車両でかつ d が小の場合で移動量が大きく、 $-4, -3$ であるが、車両速度が高い場合は一定量 (-1) である。

Fig. 9 Distribution of particle model and rigid model ($d = 2$ [m])

Table 4 Adjusted value by regression line

[単位: dB]								
d	大型				小型			
	r_1		r_2		r_1		r_2	
	μ_{Lp}	μ_Δ	μ_{Lp}	μ_Δ	μ_{Lp}	μ_Δ	μ_{Lp}	μ_Δ
2	-2	-4	-1	-2	-2	-2	0	-1
4	-1	-3	-1	-1	0	-1	0	-1
6	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
8	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
10	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1

6. 実測データによる検討

5. での考察を踏まえ、実道路4箇所に適応して検討した。検討した道路の車線中心までの距離 d_1 , d_2 はそれぞれ次の通りである。

地点1: $d_1 = 6.4$ [m], $d_2 = 9.8$ [m]

地点2: $d_1 = 3.7$ [m], $d_2 = 6.4$ [m]

地点3: $d_1 = 8.8$ [m], $d_2 = 12.3$ [m]

地点4: $d_1 = 5.2$ [m], $d_2 = 9.8$ [m]

Fig. 10 は地点1について、一時間の測定データからピーク位置を抽出して ($L_P, \Delta L$) の散布図を作成したものである。この上に Fig. 6 で示した ($\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta$) の軌跡を $40 \leq \mu_V \leq 80$ [km/h] の範囲で示している。これは一般道で通常観測される速度範囲を示したものである。同図中に実線で囲っているデータは、 L_{Aeq} の算定に影響を及ぼすと思われる L_P が比較的高いデータのうち、5. で考察した ($L_P, \Delta L$) の理論的散布範囲からかなり離れたデータである。すなわち、除外音と思われるものである。これらはそのピークを形成した車両の速度が正確にはわからないために、上記範囲での速度に対する μ_P から水平に $3\sigma_P$ 離れた L_P を (11) 式を利用して算定した範囲および、同様に ΔL 方向に $3\sigma_\Delta$ ((12) 式利用) 離れた範囲 (第一種の過誤1%未満) に入るデータである。

レベルデータのみであるので確認はできないが、経験上、たとえば同図A, Bは立上り・立下り時間が短く、交通流での移動体音源とは考えがたく、車両のクラクショ

(a) particle model

(b) rigid model

Fig. 10 An example of detecting the abnormal sounds (point No.1: $d_1 = 6.4[m]$, $d_2 = 9.8[m]$) (solid line: 1st lane & heavy vehicle, chain line: 1st lane & light vehicle, broken line: 2nd lane & heavy vehicle, dotted line: 2nd lane & light vehicle)

ン音や犬の鳴き声などと思われる。一方 C は交通流での移動体音源からのピークと思われるが、通常のパワーレベル L_W を大きく上回っており、改造車両などと思われる。

質点モデルと剛体モデルを比較すると、 $d_1 = 6.4[m]$ であり、5.2 での議論からそれほど差異は生じないことがわかる。いずれの場合も $(\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta)$ の軌跡は $(L_P, \Delta L)$ の散布図をよくとらえており、4.、5. での議論の正当性・有効性を示している。

Fig. 11 も同様であるが、地点 2 は第一車線までの距離が近い場合である。同図より次のことがわかる。1) この地点では大型車両の第一、第二車線での $(\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta)$ の軌跡の周りで、データはまばらに散布している。事実、この地点での大型車両の混入率がかなり小 ($\theta = 0.05$) であったことと一致している。2) 剛体モデルは 5.2 での考察より $(\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta)$ を低く評価する。この影響による質点モデルとの除外音の差異が 2 点程度 (図中 c, d 点) に現れている。つまり剛体モデルでは c は除外音でなくなり、逆に c は除外音となり実測データをよりよく説明し

(a) particle model

(b) rigid model

Fig. 11 An example of detecting the abnormal sounds (point No.2: $d_1 = 3.7[m]$, $d_2 = 6.4[m]$) (solid line: 1st lane & heavy vehicle, chain line: 1st lane & light vehicle, broken line: 2nd lane & heavy vehicle, dotted line: 2nd lane & light vehicle)

ているように見える。

Figs. 12, 13 では以上の考察から剛体モデルで代表して考察結果を示している。両図においても $(\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta)$ の軌跡は $(L_P, \Delta L)$ の散布図をとらえており、これに基づいて L_{Aeq} 算定に影響を及ぼすと思われる異常音を○で囲っている。とくに Fig. 13 では異常音の確認が取れている。a は犬の鳴き声、b は大型車両のギアを切り替えての空ぶかし音 (整備不良による異常音が発生した) である。本手法はこのあたりを異常音として検出している。

7. おわりに

新環境評価指標 L_{Aeq} が採用されて以来、この評価量の計測上の問題点が顕在化している。それは、 L_{Aeq} は一過性・突発性の高レベル音の影響を強く受けることである。現状では文献 [2] に示されているように、長時間にわたる大量のデータ処理を行ううえで、このような音を検出し、除外して L_{Aeq} を算定しなければならない。しかしながら、従来の除外音操作規定はほとんど機能せず、客観性に乏しい手法や経験・直感に頼った手法により除外音を判定して、白書やアセスメントが作成されている

Fig. 12 An example of detecting the abnormal sounds (point No.3: $d_1=8.8[\text{m}]$, $d_2=12.3[\text{m}]$) (solid line: 1st lane & heavy vehicle, chain line: 1st lane & light vehicle, broken line: 2nd lane & heavy vehicle, dotted line: 2nd lane & light vehicle)

Fig. 13 An example of detecting the abnormal sounds (point No.4: $d_1=5.2[\text{m}]$, $d_2=9.8[\text{m}]$) (solid line: 1st lane & heavy vehicle, chain line: 1st lane & light vehicle, broken line: 2nd lane & heavy vehicle, dotted line: 2nd lane & light vehicle)

のが実態である。信頼性のあるドキュメントを作成する立場にある計測会社にとって、このような作業は大きな問題である。

本論文は環境音の一例として、道路交通騒音を取り上げて、車両の通過時に形成するピークレベルパターン形状に着目した除外音検出法を提案した。具体的には、同形状を $(L_P, \Delta L)$ の変量で代表し、この変量の従う分布を、

- 1) 音源である走行車両を点音源（質点モデル）として扱い、二次元正規分布モデルで導出した。シミュレーション実験により考察の正当性を検証した後、
- 2) 近距離測定点では、車両の大きさすなわち、音源の分布が無視できないとの観点から、剛体モデルを提案した。同モデルは、解析的に困難であったため、これまでほとんど考察されることはなかった。
- 3) 両モデルの分布関数を実測データ4箇所適用して、モデルの有効性を検討した。一箇所は質点モデルの適用可能な箇所であり、他の三箇所は剛体モデルを

利用して検討した。とくに本問題では、利用できるデータは観測騒音レベルのみであることから、経験的に知られているパワーレベル L_W の分布と一般道路での車両速度は $40 \leq \mu_V \leq 80[\text{km/h}]$ 程度として、 $(L_P, \Delta L)$ の散布図から外れ値を推定した。具体的には、 $(\hat{\mu}_P, \hat{\mu}_\Delta)$ から $3\sigma_P$ あるいは $3\sigma_\Delta$ 離れたデータを除外音として判定した。このときの危険率は1%未満である。

本手法は、通常走行車両から発生する騒音のレベル変動パターンの特徴に基づいたモデルである。したがって、実測データに基づいて除外音処理の成否を確認しながら、モデルの仮定・設定の妥当性を検討し、より良いモデルへと改善する必要がある。またこの議論が可能となっている。一方これまでのモデルのない検出法や直感に頼った手法はこのような議論の積み上げができないことは明らかである。

また、本手法は統計的検定法に基づいており、第一種・第二種の過誤を内在している。しかしながら、レベル値に基づく手法を含み、音の種類の認知を自動化する仕掛けが経済的な理由などにより、容易に実現されない現状では、本手法はこのような過誤を含むものの、従来提案されている除外音の判別方法の不備を改善し、適用可能性を探る一つの試みである。今後、危険率をどの程度に設定するかの問題を含めて、利用者はこのような過誤の存在を十分配慮して利用する必要がある。

さらに、本手法は観測レベルデータから $(L_P, \Delta L)$ を抽出する手法である。このため交通量が大きくなると、ピークとピークが重なり、ピークレベル形状が3.での考察と大きく異なる、あるいは $(L_P, \Delta L)$ の抽出が困難となるなどの心配がある。この問題は交通量の少ない場合でも生起する可能性がある。以下に簡単に議論すれば、現時点で次のように考察される。通常観測する状況 (Figs. 10-13) であれば、第一車線と第二車線のレベル差は3~4[dB]程度であり、これが観測ピークを2[dB]足らず押し上げることになる（レベル差が0である場合でも最大3[dB]）。一方、(11)式から $\sigma_{LW}(j)$ は約3[dB]程度あり、したがって σ_P も3[dB]程度である。この状況で最大3[dB]ピークを押し上げ、 $3\sigma_P$ の除外音を判定したと考えれば、 $2\sigma_P$ 判定したことになる。この場合でも第一種の過誤は3%未満、すなわち数%未満と考えられる。さらに、このような状況が生起するのは第一車線に大型車、第二車線も大型車の場合で（本文 Figs. 10-13 の $\hat{\mu}_P - \hat{\mu}_\Delta$ の軌跡を参照すれば、大型車・小型車の組合せではほとんどピークを押し上げることはできない）、かなりまれなケースであると思われる。一方 ΔL による判定 ($3\sigma_\Delta$) では、複数の車両のユニットパターンの重なりには影響されない。すなわち複数の車両の重なりは ΔL を小さくするので $3\sigma_\Delta$ を超えた場合は、まず異常音と考えられる。

いずれにしても、今後本手法を多くの実測データに適

用して，利用可能範囲を明瞭にする必要がある．また本手法は，観測状況として遮音壁などの障害物のない伝搬環境を仮定している（3. 観測モデルの設定参照）．障害物などのある場合のユニットパターンとこれに基づく異常音検出は別途考察する必要がある，今後の課題として残されている．

謝 辞

システム制御情報学会研究発表講演会 [9] において，多くの方から貴重な意見や教示を頂きました．ここに厚く御礼申し上げます．

参 考 文 献

- [1] たとえば，日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告：小特集—新しい道路交通騒音予測法—；日本音響学会誌，Vol. 55, No. 4, pp. 281–324 (1999)
- [2] 環境庁：騒音に係る環境基準の評価マニュアル（II. 地域評価編（道路に面する地域）），p. 12 (1999)
- [3] 沖山，内田，渡嘉敷，高木，山下：長期連続自動測定から安定した環境騒音値を求める手法；騒音制御，Vol. 23, No. 5, pp. 356–364 (1999)
- [4] 松井：「長期連続自動測定から安定した環境騒音値を求める手法」における統計手法の誤用；騒音制御，Vol. 24, No. 2, pp. 144–145 (2000)
- [5] 環境庁：道路に面する地域の基準値；平成 10. 9. 30 環境庁告示 第 64 号 (1998)
- [6] 加藤，今岡，山口：信号機周辺での簡易な予測モデルの提案と実験的検討；日本音響学会誌，Vol. 58, No. 11, pp. 681–688 (2002)
- [7] 金安，金泉：交通公害，技術書院，p. 70 (1976)
- [8] 総理府：道路交通法施行規則；平成一二年八月一四日総理府令第八九号
- [9] 林，北川，加藤：道路交通騒音瞬時データによる交通流状態の推定について；第 46 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集，pp. 301–302 (2002)