

大型車通過頻度にみられるポアソン分布と振動評価*

—道路交通振動に関する統計的解析—

樋口 茂生**・石橋 雅之**
松島 貢***・西田 寛子****

キーワード ①道路交通振動 ②大型車 ③通過頻度 ④ポアソン分布 ⑤観測条件

要 旨

千葉県市原市五井南海岸の国道16号において、大型車を中心とした通過頻度および振動レベル分布を求める目的で測定を行った。その結果、次の点が明らかになった。(1)筆者らの実測によれば大型車の通過頻度はポアソン分布に従う。平均値は1分間に約3台であった。(2)測定時間を現行の5秒間隔×100回サンプリング=500秒間に限ると、信号や大型車交通流のゆらぎ等の影響が極めて大きく、これが原因で振動レベルの累積度数分布は直接的に影響を受けている。その意味でも、現行の測定時間は充分ではない。(3)本測定地点における現行評価値：L₁₀は52dB、最頻値は42dBであった。一方大型車に起因するピーク値は53～62dBに分布する。その結果、L₁₀値と苦情実態との乖離は、大型車の通過頻度、サンプリング、測定時間長等を含む評価法が関わっていると考えられる。

1. はじめに

1976(昭和51)年に振動規制法ができて30年余が過ぎた。この法律についてはこれまで時代的な制約を含め発生源、伝搬系、受振系、測定位置、測定方法、評価法、人体の感覚補正、感覚閾値等多種多様な問題点が指摘されてきた^{1)～6)}。

本論は、これら諸問題のうち特に主要な発生源と考えられる(後述)大型車に注目して、その通過確率分布の実測に基づく統計的分析をしたものである。この論点はこれまで議論されたことがなく、著者らはかねてから大型車の問題こそ優先的に論じる必要性を認めていたためである。なぜな

ら、感覚閾値は55dB(地面)⁷⁾とされており、大型車こそが、閾値以上の振動の主要な発生源として問題になると考えるからである。さらに、現行のL₁₀を求める際の無感データサンプリングの問題が複雑さを増している。一方でこの解析の結果は、振動に関する発生源対策を講じる上で大型車がもっとも重要なターゲットであることを示している。その対策の効果は当面する諸問題点を解決する上で非常に重要と考えられる。

2. 問題の設定

筆者らは、これまでに今回と同じ測定地点(後

*Poisson Distribution of Headway of Heavy-duty Vehicles—Conditions of Observation on Traffic-induced Vibration—

**Shigeo HIGUCHI, Masayuki ISHIBASHI (千葉県環境研究センター騒音振動研究室) Chiba Prefectural Environmental Research Center

***Mitsugu MATSUSHITA (千葉市環境部) Environmental Department of Chiba City

****Hiroko NISHIDA (千葉県環境生活部) Environmental and Community Affairs Department of Chiba Prefectural Government

述)における振動測定結果から次の点を明らかにしてきた。

- (1) 青信号時の振動レベルと赤信号時の振動レベルを比べると、最頻値で約10dBの差がある^{6),8)}。
- (2) 大型車だけに起因する振動レベルは、同地点では48dB以上に分布する(**Fig. 1**)⁹⁾。
- (3) 最外側車線すなわち民家にもっとも近い側の車線の影響が、ひとつ内側の車線よりも顕著である^{6),9)}。

つまり、赤信号時および大型車の通過しない時間の振動レベルは概して55dBよりも低くて知覚閾値⁷⁾を下回り、この時間の占める割合はきわめ

て大きい。したがって、現行の評価値： L_{10} を求める際は(多くは5秒×100回=500秒間で処理)、これら低レベルの値を多数サンプリングしていることが L_{10} 値を極端に低下させ、苦情との整合性を失わせる要因となっていると考えられる。

本論では、まず振動発生源としてそのターゲットを大型車に絞り、その通過確率分布および大型車に起因した振動レベルの特徴をそれぞれ明らかにする。そして、その結果から導かれる測定・評価法上の問題点を指摘する。

3. 測定および解析の方法

測定地点は、前回⁶⁾⁻¹⁰⁾と同じ千葉縣市原市五井南海岸で、対象道路は国道16号の外回り(下り)2車線である(**Fig. 2**)。この地点は上下4車線で時間交通量2,600~2,900台の幹線道路であり¹¹⁾、上下車線が幅24mの中央分離帯によって隔てられているため、上下車線相互の影響を考えなくてもよい利点がある(**Fig. 3**)。前回の測定時間は15分間であったので、大型車の通過確率を見るには限界があった。そこで、今回は2000年3月22日午後1時~3時の間の120分間とした。

車両の通過をビデオ録画し、それを再生して解析に用いた。振動測定には振動レベル計(RION社製 VM52A型)を用い、ピックアップは**Fig. 3**に示すように最外側車線中央から道路に直交する方向に5mの歩道上に設置した。また、振動レベルはDAT(TEAC社製 RD-135T型)に録音し、同時にレベルレコーダ(RION社製 LR06型)でモニタした。5mとした意味は、今回の測定の目的が発生源としての大型車に起因する振動レベルを把

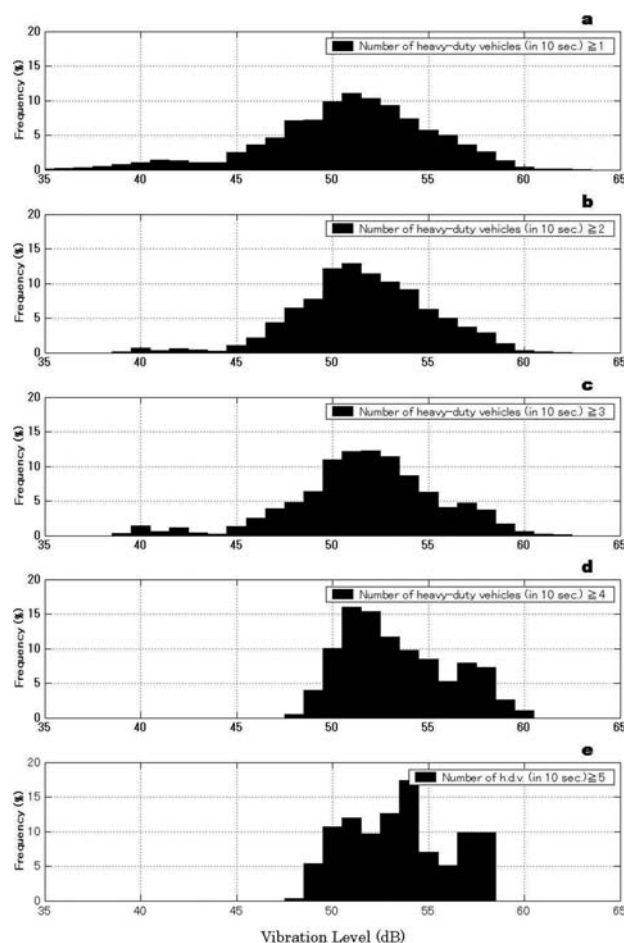


Fig. 1 大型車に起因する振動レベル分布
(ヒストグラム)

a: 10秒間に1台以上の大型車が通過した場合の振動レベル分布, b, c, d, e: それぞれ2台以上, 3台以上, 4台以上, 5台以上の大型車が通過した場合の振動レベル分布, f: それらの累積分布表現(x軸は振動レベル(dB), y軸は頻度, 総計数時間は10分間)

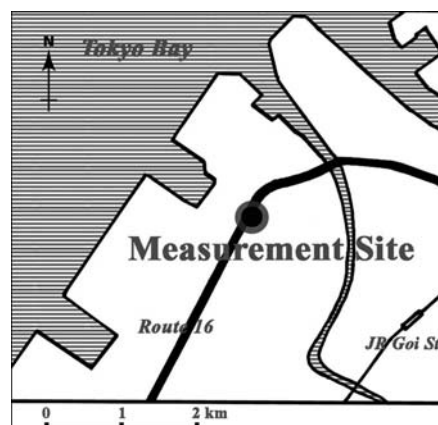


Fig. 2 調査地点

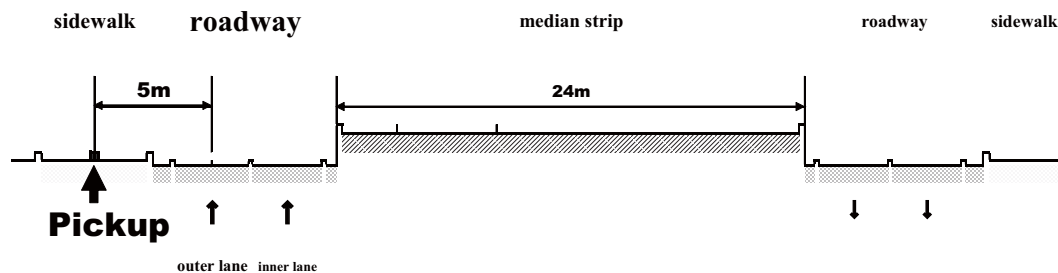


Fig. 3 道路断面および振動測定地点

握することにより、なるべく近い位置での測定データを得た方が今後の種々の判断に際して利用価値があると判断したためである。

ここで大型車と呼ぶものは、環境省¹²⁾のいう「大型車Ⅰ」であり、大型バスのほか車両総重量8トン以上、最大積載量5トン以上、普通貨物・特殊用途の各自動車で大型番号標をつけている車両をいう。また、大型貨物については速度表示灯がついているのが大きな特徴である。

大型車の通過確率については、車両がビデオ画面上で基準線を横切る時間を秒単位で読み取り、その時刻をもとに解析した。解析は1分ごとの通過台数を求めてグラフに表現し、平均値を λ (後述)とするポアソン分布の理論値と比較した。これらの分析は、自作プログラム(サイバネット社MATLABを使用)によった。

振動レベルについてはビデオ画像上で確認された車両通過時刻に対応させて処理した。実際には、DATからインターフェイスを通してデジタル・データのままPCに転送し計算に用いた。サンプリング・レートは、DATでは200Hzであったが、解析では100Hzとした。

4. 大型車の通過確率

4.1 基本データ

前に述べたように、外側車線を通過する大型車の通過時刻を読み取り、次の解析を行った。Fig. 4aは通過車両1台ごとの車頭時間間隔を順に示したものである。横軸は時間を追って通過する車両が何番目であるかを示している。因みに総通過台数(測定時間：120分間)は346台である。

次に、車頭時間間隔のバラツキを見るために、横軸に累積車頭時間間隔、縦軸に累積頻度(累積通過台数)を取り Fig. 4b に示す。この図におい

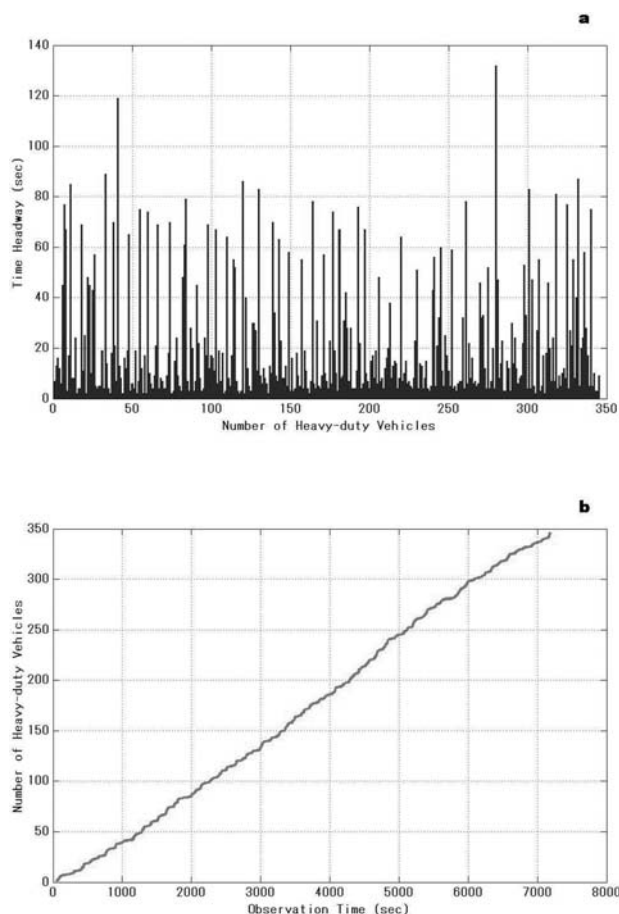


Fig. 4 車頭時間間隔データ

a：車頭時間間隔 b：累積車頭時間間隔

て描かれている斜線が直線的で、鋸状のジグザグの幅が小さいことから、測定された大型車の交通流が全測定時間120分間にわたって変動が少なく、ほぼスムーズに流れていたことがわかる。

4.2 大型車の通過頻度分布

次に、大型車の車頭通過時刻データから1分間ごとの通過台数を計算し、通過頻度ヒストグラムを求めた。カウント時間を1分間にしたのは、後述する理論に従えば、解析時間長がヒストグラムの形状に影響を及ぼさないためである。ただし、

ここで扱っているのは実際の交通流であり、信号の影響はもとより人為的な乱れや偏り(ゆらぎ)が含まれる。そこで、カウント時間は最寄りの交差点の赤信号時間:46秒間よりは長く、現行の測定時間(=500秒間)内に十分な回数がとれるという意味も考慮して1分間とした。求められたヒストグラムを **Fig. 5** に示す。

この図からわかるように、大型車だけに限ると交通量は少なく、1分間当たりの平均通過台数は2.9、その標準偏差は1.8、分散/平均の比は1.1となる(測定時間:120分間)。

Gerlough and Huber¹³⁾は、分散/平均の比によって交通流における通過確率分布が異なることを述べ、その比が約1の場合はポアソン分布に適合すると述べている。この考え方に従うと、本研究の対象とする交通流はポアソン分布モデルで表現できると考えられ、それは次のように記述できる^{13),14)}。

$$P(k;\lambda t) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \quad (1)$$

ここに、 t は単位時間(分)、 $P(k;\lambda)$ は単位時間 t あたり k 台の車両が通過する確率、 λ は単位時間 t あたりの平均通過台数である。

Fig. 5 は観測に基づく通過頻度ヒストグラムに重ねて、実測時間の平均通過台数 $\lambda=2.9$ の場合のポアソン分布の理論値を折れ線で示した。これに対してカイ二乗適合度検定を行った結果、 $\lambda=2.9$ のポアソンモデルは有意水準5%で観測事実と矛盾しないことが確認された。

ちなみに、 λ の最尤推定量 $\hat{\lambda}$ はポアソン分布の場合、次式で与えられる¹⁵⁾。

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (2)$$

ここに、 k_i は単位時間あたりの通過台数であり、この場合、 n は120(観測時間120分間を単位時間1分間で除したもの)である。

4.3 10分間の大型車通過頻度

120分間全体を通しての大型車通過頻度は、4.2に述べたとおりであるが、ここでは、現行の測定時間:5秒×100回=500秒間に準じて10分間の計測を行った場合の12ケースについて通過頻度を考える。**Fig. 6**は全体の測定時間=120分間を次のように10分間ごとに区切って、その通過頻度を示

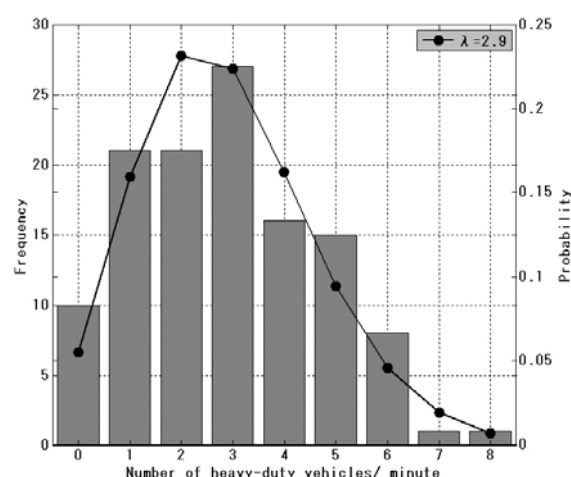


Fig. 5 大型車の通過確率分布
(計数時間間隔:1分間, 総計数時間:120分間)

したものである。a:13:00~13:10, b:13:10~13:20, c:13:20~13:30, d:13:30~13:40,....., l:14:50~15:00。個々に示した λ の値は、各10分間に実際に通過した台数の1分間あたり平均台数を示している。これによると10分間の測定では、理論値に適合するものは見られない。

ここで示したような10分間に通過する大型車の頻度を考えると、実測によって求められる振動レベル値は、その時々的大型車の通過台数に大きく影響されるものと考えられる。

5. 大型車に起因した振動レベル

ここでは、3で述べた著者らの実測から得られた大型車の通過に起因する振動レベルについて述べる。現行の評価法に基づく5秒間隔×100回=500秒間に準じて10分間のデータについて詳細に解析する。解析区間は14時49分~14時59分の10分間である。この時間が全体的な交通の流れに対して大きな変動がないことは確認されている。

(1) 振動レベル記録の特徴

Fig. 7aは測定時間:10分間における振動レベルの変動を示したものである。サンプリング・レートは100Hzである。横軸は時間(分)、縦軸は振動レベル(dB)である。全体として5つのブロックに分かれており、黒く塗りつぶしたところが青信号区間であり、相対的に大きな振動レベルを記録している。因みに、○印は外側車線を通過した大型車に起因する振動レベルのピーク値を示している。この間の大型車交通量は28台である。また、

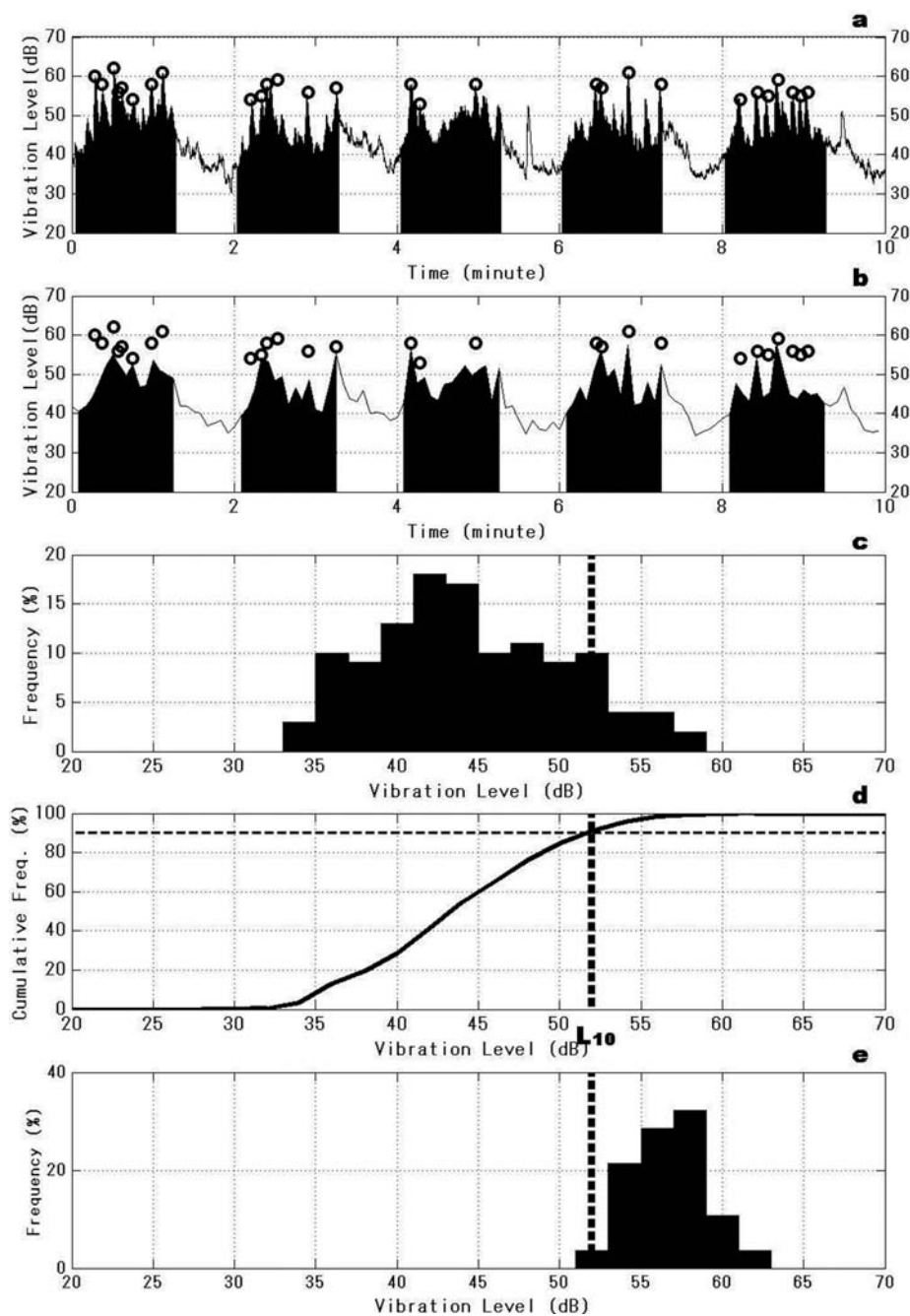


Fig. 6 振動レベルデータ(国道16号, 千葉縣市原市五井南海岸)

- a: 振動レベルの時系列分布(サンプリング・レート: 0.01秒)
- b: 振動レベルの時系列分布(サンプリング・レート: 5秒)
- c: 振動レベルのヒストグラム
- d: 累積度数分布と L_{10} 値
- e: 振動レベルの最大値のヒストグラム

青信号区間に挟まれる振動レベルの小さい区間は赤信号区間である。この区間には交差点において交差道路から国道16号に流入する車両による振動がみられる。

Fig. 7b は同じ時間の振動レベル・データにつ

いて、サンプリング間隔を5秒(サンプリング・レート: 0.2Hz)にした場合を示している。前述のサンプリングレート100Hzの場合に捕捉されていた○印に対応するピークが消滅していることが注目される。

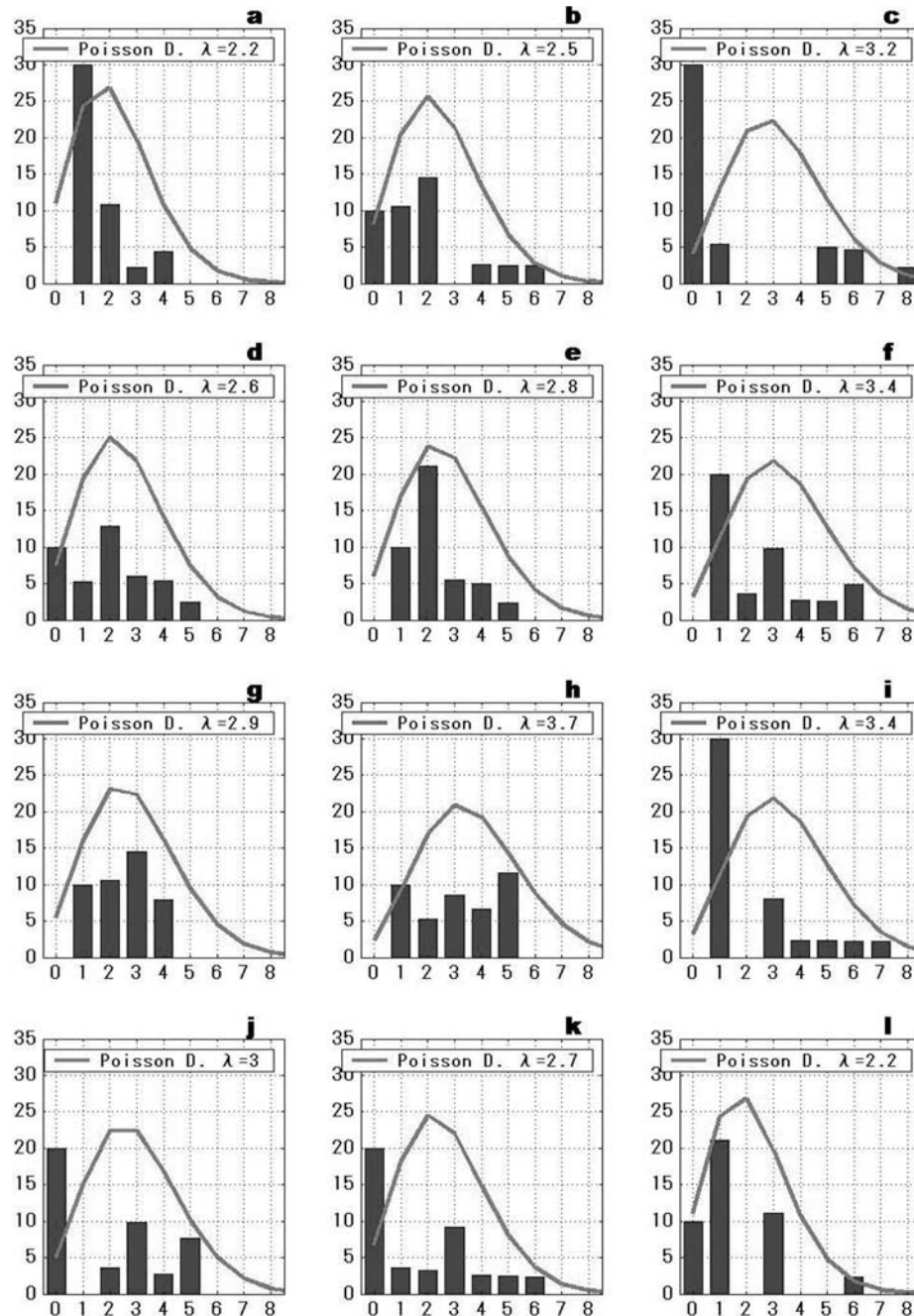


Fig. 7 大型車の通過確率分布(10分間で区切った場合)

a : 13:00~13:10, b : 13:10~13:20, c : 13:20~13:30, d : 13:30~13:40, e : 13:40~13:50, f : 13:50~14:00, g : 14:00~14:10, h : 14:10~14:20, i : 14:20~14:30, j : 14:30~14:40, k : 14:40~14:50, l : 14:50~15:00
x軸：1 分間に通過する大型車の台数 y軸：大型車の通過頻度

(2) ヒストグラム

Fig. 7c は, Fig. 7a に示した振動レベル・データ(単位: dB)をヒストグラムで表したものである。最大値は62, 最小値は30, 平均値は45, 最頻値は43, 標準偏差は5.9である。

(3) 評価量: L_{10} (累積度数分布)

Fig. 7d は, 5 秒間隔サンプリングによる累積

度数分布を示したものである。中央値是最頻値と同じ43dBであり, 振動規制法に基づく評価値 L_{10} は52dB と求められる。

(4) 振動レベルのピーク値分布

Fig. 7e は, Fig. 7a に示した大型車28台に起因する振動のピーク値(○印, 単位: dB)だけをヒストグラムで表現したものである。最大値は62,

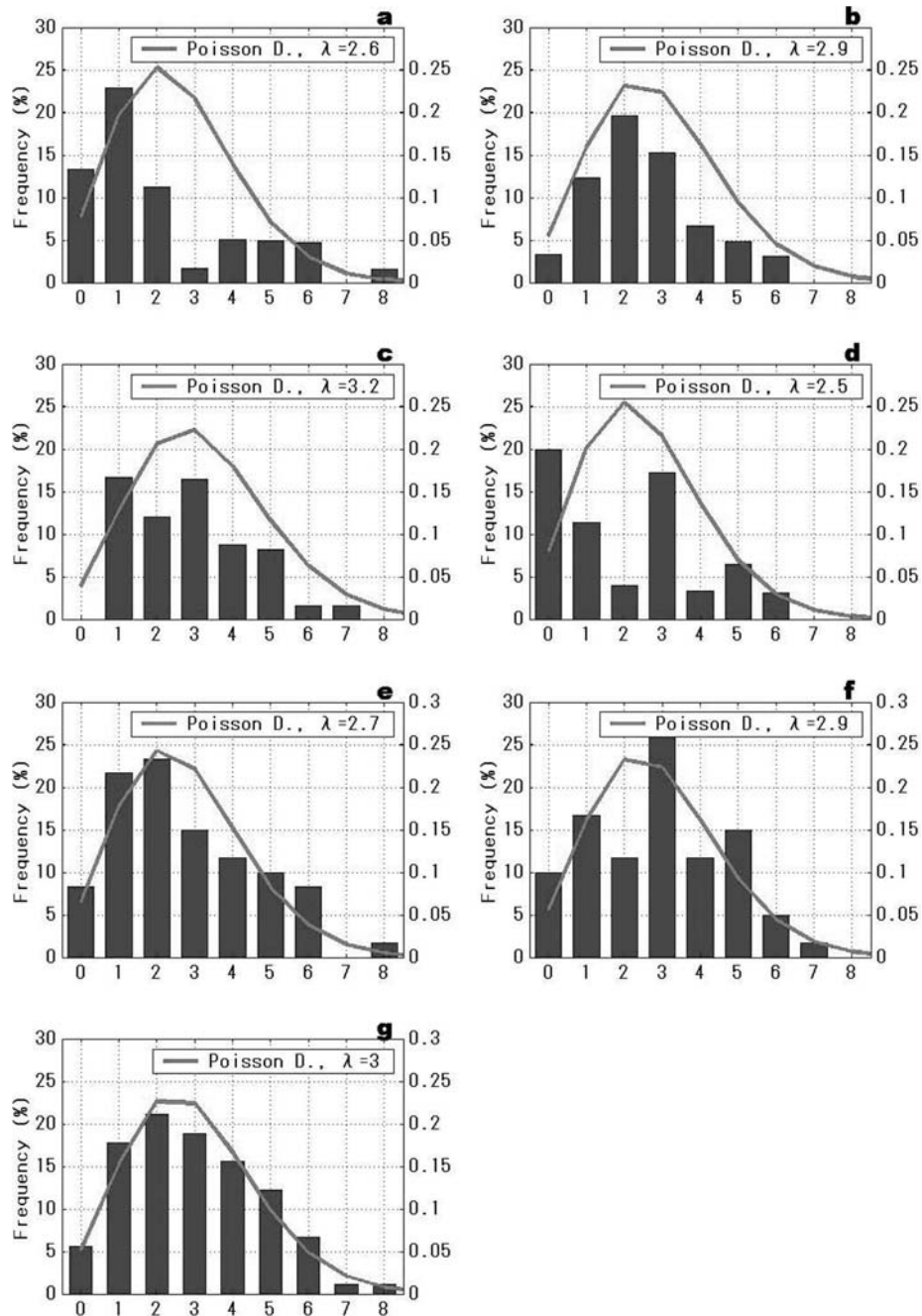


Fig. 8 大型車通過頻度の分布(測定時間の影響)

棒グラフ：観測値，折れ線グラフ：理論値

a, b, c, d: 30分間, e, f: 60分間, g: 90分間

最小値は53, 平均値は57, 標準偏差は2.2である。この図における重要な特徴は、大型車に起因する振動レベルのピーク値のすべてが(3)求められている L_{10} 値 (Fig. 7d) よりも大きい振動レベルの範囲に分布することである。

6. 測定時間の大型車通過頻度への影響

大型車通過頻度の測定値は、測定時間を10分間

に限った場合、理論値と大きく異なることがわかった (Fig. 6)。そこで、測定時間を延長することによる変化を見してみる。Fig. 8a, b, c, d は 30分間, Fig. 8e, f は 60分間, Fig. 8g は 90分間の各測定時間の大型車通過頻度の測定値(棒グラフ)および理論値(折れ線)を示している。

この図は大型車が主要な振動レベルを規定していると考えらるならば、その通過頻度のばらつきに

より影響を受けないためには10分間ではなく、より長い測定時間をとるべきことを示している。

7. ま と め

千葉県市原市五井南海岸における国道16号外回り車線を対象に、大型車を中心とした通過頻度および振動レベルのそれぞれの分布を求めた。その結果、次の点が明らかになった。

- (1) 民家に対する影響の大きい最外側車線における大型車の通過頻度はポアソン分布に従う。筆者らの実測によれば、平均すると1分間に約3台の頻度である。この値は幹線道路における一応の目安になる。
- (2) 現行の500秒間に測定時間を限った場合、大型車の信号や交通流のゆらぎ等による頻度の乱れは極めて大きい。この乱れは振動レベル累積度数分布に直接的に影響を及ぼす。その意味でも現行の観測条件は、5秒間隔サンプリングおよび測定時間ともに決して適切ではない。これはピーク値を読み取るのではなく、連続サンプリングすることから派生している。
- (3) 筆者らの調査地点では、現行評価値： L_{10} は52dB、最頻値は42dBであった。一方大型車に起因するピーク値は53~62dBに分布し、 L_{10} 値と比べて極めて大きな値となった。これは、現行の評価値である L_{10} と苦情との不整合の要因が大型車の通過頻度、サンプリング、測定時間等を含む評価法が関わっていることを示す。

今後は、今回の時間軸の解析からさらに振幅すなわち振動レベルの側面に重点をおいた検討を進めたい。

謝 辞

次の方々には、この研究および論文作成にあたってたいへんお世話になった。日本騒音制御工学会環境振動評価分科会の委員の方々には本論の一部について議論していただいた。リオン株式会社の横田明則氏、埼玉県環境科学国際センターの松岡達郎氏・白石英孝氏には原稿を読んでいただき、貴重なアドバイスを頂いた。統計数理研究所北川源四郎教授には統計処理についてご教示いた

だいた。千葉県環境研究センター石井皓騒音振動研究室長(当時)には調査から報告まで何かとお世話になった。以上の方々のご援助がなければこの研究は成就しなかった。ここに改めて心より感謝申し上げる。

あとがき

この原稿は調査直後に書かれたものであるが、事情があって先送りにされていた。したがって、時間的に前後したり。その後の成果の引用等で問題がなくもないが、記録を残すことを優先してほとんど元のままとした。ご容赦願いたい。

一 文 献

- 1) 中野有朋：“不規則かつ大幅に変動する振動として扱われている振動”の振動レベルの決め方についての提案。騒音制御，11，262-264(1987)。
- 2) 中野有朋：環境振動(技術書院，東京，1996)．133p。
- 3) 前田節雄：環境振動評価手法の最近の動向。環境技術，26，603-608(1997)。
- 4) 成瀬治興：小特集「環境振動」にあたって。音響学会誌，55，435-436(1999)。
- 5) 時田保夫：振動問題の変遷と今後の展望。音響学会誌，57，44-46(2001)。
- 6) 日本騒音制御工学会編：地域の環境振動(技報堂出版，東京，2001)，235p。
- 7) 振動法令研究会：振動規制の手引き—振動規制法逐次解説／関連法令・資料集—，技報堂出版，342p。2003
- 8) 樋口茂生，石橋雅之，松島 貢，西田寛子：道路交通振動への信号および大型車の影響。音講論集，673-674(2000.3)。
- 9) 千葉県環境研究所：環境振動調査—道路交通振動における L_{10} 評価の問題点—。千葉県環境研究所年報1999，84-85(2000)。
- 10) 樋口茂生，石橋雅之，松島 貢，西田寛子：大型車に起因する振動レベルの実態—道路交通振動における評価について—。音講論集，613-614(2000.10)。
- 11) 千葉県土木部：平成9年度道路交通センサス，一般交通量調査基本集計表。(千葉県土木部道路維持課，千葉，1998)，1622p。
- 12) 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)。(環境庁大気保全局，東京，2000)。
- 13) Gerlough, Daniel L. and Huber, Matthew J.: *Traffic Flow Theory, A Monograph, Special Report 165*. (Transportation Research Board National Research Council, USA, 1975), 222p.
- 14) Feller, William: *An Introduction to Probability Theory and Its Applications*. Third ed. Volume I. (John Wiley & Sons, USA, 1968) 509p.
- 15) 坂元慶行，石黒真木夫，北川源四郎：情報量統計学。(共立出版，東京，1983)236p。