交通騒音のうるささに及ぼす振動の影響の有無

EXISTENCE OF THE EFFECT OF VIBRATION ON TRAFFIC NOISE ANNOYANCE

佐藤 哲身*

Tetsumi SATO

The purpose of this study is to evaluate the contribution of the traffic vibrations to the noise annoyance through two surveys.

The first survey was carried out in terms of road traffic noise and vibration in Sapporo City. The survey comprised attitude interviews and the physical measurements outdoors. It was found that people responded with greater annoyance to the same traffic noises in the areas where traffic vibrations were severer.

The second survey was carried out in terms of railway noise and vibration in the same manner as the case of road traffic. Almost the same results were obtained.

Keywords : traffic noise, traffic vibration, annoyance

交通騒音, 交通振動, うるささ

1. はじめに

等価騒音レベル (L_{eq}) を騒音評価の基礎尺度として用いることの有効性が広く認められつつある。しかし、現実の場での騒音の評価を考えた場合、音のエネルギー以外の要因を無視できないことは明らかである。例えば、アンケート調査を実施して、ある音のうるささについて質問した場合、明らかに同程度の音にさらされていると思われる住民の回答に、大きなばらつきが認められることが多い。これを個人差としてとらえる立場もあるが、音源に伴う様々な情報や音以外の刺激によって、住民の回答が影響を受ける可能性のあることは想像に難くない。このように、個人の心理的要因はもとより、音以外の外的刺激が、騒音に対する住民反応に影響を及ぼしている可能性は十分に考えられる。なかでも、振動は、同一発生源からの物理的刺激という意味で注目すべき要因と言えよう。しかし、これまでに公表された研究は騒音と振動を独立に扱ったものがほとんどであり、相互影響を扱った研究は少ない。道路や鉄道といった陸上交通についてみると、騒音と振動は、共に心理的不快感をもたらす代表的な刺激であり、特に日常生活の場において、これらの相互影響を検討することは意義深いものと考えられる。Guignard¹⁾ は、種々の側面から、この分野の既往の研究をまとめているが、ここでは、その後に公表された幾つかの研究を概観してみたい。

西宮²⁾ は、自動車、航空機、新幹線、工場等の騒音・振動に関する数多くの社会調査にたずさわった経験から、騒音と振動に対する住民の態度反応の相違について次のとおり分析している。すなわち、「騒音に対する態度反応については騒音暴露量などの物理的要因が最も大きい寄与度をもっているのに対し、振動に対する態度反応は物理的要因と一義的に対応せず、同時に存在する騒音のうるささなどによってマスクされている。」と述べている。また、具体的な影響に関する項目中、“house vibrate” に対して、騒音レベルが大きく寄与しているとしている。これは騒音レベルと振動レベルの相関が高いことによるとも考えられるが、騒音と振動に対する態度反応が、何らかの形で相互に影響しあっていることを示唆するものである。豊田³⁾ は、在来鉄道騒音・振動に関する物理量の実測と沿線住民へのアンケートを広範な地域で実施し、数理化理論に基づいて態度反応の尺度化を試みている。騒音については騒音レベルの寄与率が大きいことから尺度化が可能であるが、振動については尺度化可能な水準に達することができなかったとしており、振動に対する住民反応の複雑さを強調している。Fields⁴⁾ は、鉄道騒音に関する大規模な調査の中で、騒音以外のいろいろな刺激（振動、ちり、臭いなど）に関してアンケートを行い、騒音以外では、振動がアノイアンスに最も大きな影響を及ぼすことを示した。さらに騒

* 北海学園大学工学部 教授・工修

Prof., Faculty of Engineering, Hokkai Gakuen Univ., M. Eng.

音のアノイアンスに影響を及ぼす要因と同様の要因が、振動のアノイアンスに影響を及ぼしているとしている。

以上は、騒音と振動に関する社会調査から、態度構造の相違について考察したものである。次に、騒音と振動の相互影響を直接扱ったものについて述べる。これらは大きく、1) 感覚領域での相互影響と、2) 作業に対する影響の2つに分類されるが、ここでは、本論と関連の強い前者について紹介する。

Fleming et al.⁵⁾ は、恒常法を用いて騒音と全身振動の主観的等価値を求める実験を行い、騒音と振動によって生ずる相対的な不快感 (displeasure) について検討を行った。得られた結果は大きな個人差を伴っているものの、この研究は、不快感という一つの尺度上で騒音と振動の直接比較が可能であることを示したものである。徳山⁶⁾ は、騒音と振動に対する感覚反応の相互影響について実験を行い、その結果、振動は音の「大きさ」には影響を及ぼさないが、「不快感」には相互影響の可能性があると述べている。吉川ら⁷⁾ は、人間が純音を聞いている時、その純音と周波数の等しい正弦振動を人体に与えると、純音のラウドネスが増大するという知見をもとに、低域での聴覚感度の低下によるラウドネス減少を補正するためにはどの程度の振動を人体に与えたら良いかを実験によって検討した。ラウドネス変化の要因を3種類あげ、各々を検討した結果、ラウドネスの増大に最も大きく寄与する要因は振動感覚であり、その他の要因の影響は小さいという結論を得ている。すなわち、聴感と振動感覚の相互影響の存在が確認されている。

以上、感覚領域における騒音と振動の相互影響についていくつかの研究成果を見てきた。結論に相違はあるにせよ、いずれの結果も騒音と振動の間に何らかの相互影響を見いだしているものといえよう。

筆者はこの問題に着目し、札幌市において、道路および鉄道周辺の騒音・振動に関する2シリーズの社会調査を実施し、騒音のうるささに及ぼす振動の影響について検討を行った。本論においては、振動レベルの大きな地域と小さな地域とで、騒音のうるささに関する住民反応に相違が認められるか否かを検討する。

2. 道路交通騒音・振動に関する調査¹⁰⁾

本調査に先立ち、札幌市内の広範な地区を対象として、視察と簡単な実測による予備調査を実施した。その目的は、1) 騒音レベルと振動レベルの関係ができるだけ異なる地区を見つけること、2) ある程度まとまった軒数の住宅が存在する地区を見つけることの2点である。その結果選定された13の調査対象地区は、道路からの距離ができるだけ等しくなるように2～3のブロックに区分された。ブロックの数は総計37となり、各々10軒程度の住戸を含んでいる。一例を図-1に示す。アンケー

図-1 地区内住戸の分類と測定点の例
(道路交通騒音・振動の場合)

表-1 調査票の概要 (道路交通騒音・振動の場合)

分類	主な内容
住民の属性(Face)	年齢、性別、世帯主の職業、家族数、家の構造
地域環境	交通の便、買い物の便、公共施設、公害意識
騒音全般	気になる音の種類、車の種類、近隣騒音
道路交通騒音	具体的影響、うるささ(※)、季節、時間
振動全般	気になる振動の種類、車の種類、近隣振動(※※)
道路交通振動	具体的影響、気になる程度(※)、季節、時間
騒音・振動全般	気にしている家族、対処の仕方、総合被害意識
(再び) 地域環境	移転の意思と原因、日常生活上の不満
調査員観察	周辺状況、回答者の性格、建物の種類

※ 主質問：道路交通騒音のうるささ、道路交通振動の気になる程度については5段階のカテゴリー評定（非常に－かなり－やや－あまり－全く）

※※ 「近隣振動」という用語は、音の場合の「近隣騒音」に対応するものとして用いており、例えば住宅用設備機器に伴う振動などを想定している。

ト調査の実施時期は昭和59年9～10月、騒音レベルと振動レベルの実測はアンケート調査終了後の10～11月に行った。アンケート調査は、これに先駆けて、調査対象の住戸354戸に対して調査予定日時を記入した依頼状を配布し、本調査では訪問面接法を採用した。調査対象は原則として主婦としたが、止むを得ない場合は、普段家に居て一日の様子が伺える機会の多い人に回答を求めた。また、住戸構造はすべて木造一戸建に限定した。最終的な有効回答数は219件である。調査票は「生活環境意識調査」と題してマスク用の質問を含めるなど、騒音、振動に関する調査だという先入観を与えないように配慮した。調査票の概要は表-1のとおりで、32の質問項目と9の調査員観察項目から成っている。なお、主質問の「道路交通騒音のうるささ」、「道路交通振動の気になる程度」は表-1のとおり、5段階のカテゴリー評定とした。一方、騒音レベル・振動レベルの測定については、各地点の屋外に代表的かつ測定器設置可能な測定点を一箇所設置し、4時間おき(7, 11, 15, 19, 23, 3時台)に10分間ずつ計6回、騒音計(RION NA-20)、振動レベル計(RION VM-14B)とレベルレコーダ(RION LR-04)で記録した。騒音レベルは周波数補正回路A

特性、動特性 fast, 振動レベルは鉛直方向のみとし、振動感覚補正回路を通して記録した。振動レベルの測定を鉛直方向のみに限定したのは、昭和 58 年度に行った調査⁹⁾により、鉛直方向と水平方向のレベルの相関が高いこと、および、鉛直方向の指示値が最も大きな値を示したことから、これのみで全体を代表させて問題ないと判断したためである。このようにして記録した 10 分間ずつ 6 回、計 60 分の騒音レベル、振動レベルの波形が 1 日のレベル変動を表していると仮定し、5 秒ごと、計 720 個のレベルを読み取って、騒音・振動の各種評価尺度 (L_x , $L_{eq(24)}$, L_{dn} 等) の値を計算した。以下、混同を避けるために、振動レベルについては VL_x 等、記号の頭に V を付けて表すことにする。

さて、社会調査を行う際には、回答者にバイアスのかからないように十分注意する必要がある。この調査は騒音のうるささに及ぼす振動の影響を検討することが主目的であるため、筆者は図-2 に示す手順で調査を進めることにより、バイアスの除去を試みている。すなわち、1 つは、通常行うように、アンケート調査終了後に物理的測定を行うこと、さらに「騒音」に関する質問項目の後に「振動」に関する項目を置くことである。これにより、少なくとも振動に関する質問が騒音に関する回答に影響を与えることはないと言える。

図-3 は、13 地区の各ブロックにおける騒音レベル ($L_{eq(24)}$) と振動レベル (VL_{10}) の関係である。双方の

図-2 アンケートと物理的測定の手順

評価量に $L_{eq(24)}$ と VL_{10} を採用したのは、現在、わが国で用いられている変動騒音・変動振動の評価量の代表的なものであることによる。図から明らかなように、地区番号 (4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13) のグループは他の地区に比べて振動レベルが大きくなっている。札幌という地域性もあって、いずれの地区も振動レベルは大きいとは言えないが、相対的に見て、上述の 2 つのグループに分類できると考えられる。そこで地区番号 (4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13) の地区をグループ 1、他の地区をグループ 2 と呼ぶことにする。なお、一部の地区の VL_{10} がかなり小さな値を示しているが、これらの測定値は機器の内部ノイズの影響を受けない範囲のものであることを確認している。このように各地区においては騒音レベルと振動レベルに相関が認められるものの、全体として見ると、騒音レベルがほぼ同じ地区でも振動レベルに大きな相違のある様子が伺える。図-4 は、それぞれ騒音と振動に対する不快感反応の分布を 2 つのグループについて比較したものである。振動はもちろん、騒音についても両者に相違が認められる。すなわち、振動については全

図-3 地区別道路交通騒音レベル ($L_{eq(24)}$) と振動レベル (VL_{10}) の関係

図-4 道路交通騒音と振動に対する住民反応の分布

表—2 道路交通騒音のうるささに関するコルモゴロフ・スミルノフ検定の結果 (S1(X) と S2(X) はグループ別うるささ正反応の相対累積度数を表す)

Leq(24)	52-54	54-56	56-58	58-60	60-62	62-64	64-66	66-68	68-70	70-72
S1(X)	0.052	0.082	0.144	0.361	0.474	0.588	0.845	0.969	1.000	1.000
S2(X)	0.044	0.044	0.044	0.156	0.244	0.289	0.289	0.578	0.867	1.000
S1(X)-S2(X)	0.008	0.038	0.100	0.205	0.230	0.299	0.556	0.391	0.133	0.000

1. two tailed test: $D_{0.01} = 1.63 \sqrt{(97+45)/(97 \times 45)} = 0.294$
 $D = \max. |S1(X) - S2(X)| = 0.556$, $D > D_{0.01}$, significance of 1% level
2. one tailed test: $\chi^2 = 4 \times (0.556)^2 \times (97 \times 45) / (97 + 45) = 38.0$, $\chi^2_{0.01}(2) = 9.21$
 $\chi^2 > \chi^2_{0.01}(2)$, significance of 1% level

図—5 グループ別「道路交通騒音のうるささ」正反応の分布

体的に「気にならない」と言う回答者が多いが、中でもグループ2はその比率が大きい。また騒音の「うるささ」は、いずれも「ややうるさい」付近が最大比率を占めているが、グループ2はうるささの程度が小さな方向に偏り、グループ1はよりうるさい方向へと偏りが見られる。

次に、両グループについて、そのうるささ反応と騒音レベルの関係を直接比較してみたい。うるささの各カテゴリーに回答した人数に大きな偏りがあるため、ここでは、騒音のうるささに対する正反対（やや、かなり、非常に）を一括して扱い、その数の騒音レベルに関する累積度数曲線を描いて分布状態を比較することにした。図—5は騒音レベルを2 dBAごとにグルーピングした場合の比較である。騒音レベルのレンジは両グループともほぼ同じであるが、例えば正反応に該当する回答者のうち半数が存在するレベルはグループ1で約62 dBA、グループ2で約68 dBAと6 dBA程度の相違として表れている。これら2つの曲線が有意な差をもっているかどうかを検定する目的で、コルモゴロフ・スミルノフの検定⁸⁾を行った。この検定法は、いわゆるノンパラメトリック検定法の一つで、変量が順序尺度のときに用いられる。この方法を用いたのは、1) 2つのグループの母集団の分布が正規分布であるという仮定がたてにくく分布の型が明確でないこと、2) 騒音レベルの単位であるデシベ

ル尺度が本来順序尺度であることの2つの理由による。検定の計算および結果を表—2に示す。両側検定の結果1%水準で有意差が認められ、両者は異なる母集団からのサンプルであると言える。さらに、片側検定の結果からも同様に1%水準で有意差が認められ、グループ1の累積度数の増加傾向が、グループ2を上回ると結論できる。

以上により、振動が騒音のうるささに影響を及ぼす可能性が強いという結論を得た。

3. 鉄道騒音・振動に関する調査¹¹⁾

前節と同様の目的および方法で、昭和62年9月から11月にかけて、札幌市内を走る3本の鉄道沿線において調査を実施した。調査対象地区は9地区であり、調査対象住戸319戸から得られた有効回答数は154件である。対象地区の一例を図—6に示す。騒音レベル・振動レベルの測定については、各ブロックの屋外に代表的かつ測定器設置可能な測定点を一箇所設置し、騒音計と振動レベル計の出力をデータレコーダ (TEAC R-61) に記録した。これらのデータを持ち帰り、騒音レベルについては周波数補正回路A特性および動特性fastの設定で、また振動レベル (鉛直方向のみ) については、振動感覚補正回路を通して、レベルレコーダ (RION LR-04) に波形を記録した。対象地区を通過する列車はすべて旅客専用であり、貨物列車は含まれていない。また、通過

図—6 地区内住戸の分類と測定点の例
(鉄道騒音・振動の場合)

列車の本数は、地区番号1が113本、地区番号2が199本、地区番号9が66本、その他の地区が325本である。これらの列車を特急、急行、快速、普通等の種類と車両編成をもとに数グループに分類し、各グループの代表的なものについて、上り列車、下り列車の通過時の波形を記録した。この波形から0.25秒ごとのレベルをサンプリングし、図-7に示す方法で1列車あたりの Total Energy Level (L_{en}) を計算した。さらに、これを全列車についてエネルギー加算して、1日あたりの総暴露エネルギーレベルを求めた。以下、混同を避けるために、これらのレベルを、騒音については $L_{en(day)}$ 、振動については $VL_{en(day)}$ と表記することにする。

図-8は、9地区の各地点における、騒音と振動の1日の総暴露エネルギーレベル ($L_{en(day)}$, $VL_{en(day)}$) の関係を表している。図から明らかなように、地区番号(5, 7, 9)のグループは他の地区に比べて振動レベルが小さくなっているのが分かる。そこで、相対的に振動レベルの大きな地区(1, 2, 3, 4, 6, 8)をグループ1、小さな地区(5, 7, 9)をグループ2と呼ぶことにする。前節の

道路交通騒音・振動の場合と同様に、騒音レベルがほぼ同じ地区でも振動レベルにかなりの相違のある様子が伺える。図-9は、騒音と振動に対する不快感反応の分布を2つのグループについて比較したものである。図に示すとおり、前節の道路交通騒音・振動の場合に比べて両グループに明確な傾向の相違は認められない。ただし、正反応(やや、かなり、非常に)の割合を比べると、グループ1では騒音と振動に対する正反応がそれぞれ62.5%と38.3%、グループ2では58.3%と36.7%であり、若干ではあるがグループ1がグループ2を上回っている。ここでは、前節と同様に、騒音のうるささに関する正反応の累積度数分布を描き、その分布状態により比較することにする。図-10はその結果である。騒音レベルのレンジは両グループともほぼ同じであるが、正反応に該当する回答者のうち半数が存在するレベル($L_{en(day)}$)はグループ1で約104 dBA、グループ2で約109 dBAと5 dBA程度の相違として表れている。これら2つの曲線に、コロモゴロフ・スミルノフの検定を適用した結果が表-3であり、5%水準で有意差が認め

* 1列車あたりの Total Energy Level

$$L_{en_j} = 10 \log_{10} \left\{ \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{L_{i,j}/10} \right) \cdot d_j \right\}$$
 n : サンプリング数

* 1日あたりの総暴露エネルギーレベル

$$L_{en(day)} = 10 \log_{10} \sum_{j=1}^N 10^{L_{en_j}/10}$$
 N : 1日の通過列車本数
 (振動については VL_{en} と表記する)

図-7 鉄道騒音・振動の時間特性に関する用語の定義

図-8 地区別鉄道騒音レベルと振動レベルの関係
 (1日の総暴露エネルギーレベル)

図-9 鉄道騒音と振動に対する住民反応の分布

表—3 鉄道騒音のうるささに関するコロモゴロフ・スミルノフ検定の結果 (S1(X) と S2(X) はグループ別うるささ正反応の相対累積度数を表す)

Len(day)	86-88	88-90	90-92	92-94	94-96	96-98	98-100	100-102
S1(X)	0.017	0.017	0.017	0.017	0.237	0.237	0.305	0.424
S2(X)	0.000	0.057	0.057	0.057	0.171	0.286	0.286	0.286
S1(X)-S2(X)	0.017	0.040	0.040	0.040	0.066	0.049	0.019	0.138
Len(day)	102-104	104-106	106-108	108-110	110-112	112-114	114-116	116-118
S1(X)	0.458	0.610	0.780	0.847	0.881	1.000	1.000	1.000
S2(X)	0.286	0.371	0.514	0.514	0.857	0.857	0.857	1.000
S1(X)-S2(X)	0.172	0.239	0.266	0.333	0.024	0.143	0.143	0.000

1. two tailed test: $D_{.05} = 1.36 \sqrt{(59+35)/(59 \times 35)} = 0.290$
 $D = \max |S1(X) - S2(X)| = 0.333$, $D > D_{.05}$, significance of 5% level
2. one tailed test: $\chi^2 = 4 \times (0.333)^2 \times (59 \times 35) / (59 + 35) = 9.744$, $\chi^2_{.05}(2) = 5.991$
 $\chi^2 > \chi^2_{.05}(2)$, significance of 5% level

図—10 グループ別「鉄道騒音のうるささ」正反応の分布

られた。すなわち、グループ1の累積度数の増加傾向が、グループ2を上回ると結論できる。

以上により、道路交通騒音と同様、鉄道騒音に関しても、振動が騒音のうるささに影響を及ぼす可能性が強いという結論を得た。

4. おわりに

以上、2シリーズの調査を通して、騒音のうるささに及ぼす振動の影響について検討を行った。評価尺度が異なるので厳密な意味での比較はできないが、今回の調査地区においては、鉄道よりも道路交通の場合の方が、2つのグループ間の振動レベルの差が大きいと言える（図—3と図—8）。また、騒音のうるささに関する正反応の分布の差も道路交通の場合に顕著であり、統計的に有意水準も上回っている（図—4と図—9、および図—5と図—10）。

以上をまとめると、以下のとおりである。

- ① 道路交通騒音および鉄道騒音のうるささに関する住民反応は、同じ発生源からの振動の影響を受けて形成される可能性が強く、振動レベルが大きな場合にうるささ反応も大きい。
- ② 道路交通騒音に関する調査地区の振動レベルの差は鉄道の場合よりも大きく、また、うるささ反応の相違も

顕著なことから、一般に、振動レベルの差が大きいほど、うるささ反応の差も大きくなることが予想される。

初めにも述べたように、騒音のうるささに影響を及ぼす要因は多岐にわたり、住民反応を十分に説明するためには、騒音レベルと振動レベル以外にも、多くの要因が必要と思われる。しかし、振動という要因に積極的に着目した場合、音源の異なる2つの調査において同じ結論が得られたことは、結論の普遍性を裏付けるものと考えられることもできよう。もちろん、ここで得られた知見は今回実施した調査の範囲に限られるものであり、振動レベルが非常に大きい場合については明らかでない。また、物理量の測定位置、言い換えれば室内や屋外のどの位置の騒音や振動を問題にすべきかも大きな課題として残されている。今後は、これらの2つの調査を通して得られた知見をもとに、より詳細な調査を行い、交通騒音のうるささに及ぼす振動の影響の定量的予測法の検討を行う予定である。

おわりに、本論をまとめるにあたり、貴重なご助言を頂いた室蘭工業大学・泉 清人教授と、調査・分析にご協力頂いた多数の北海学園大学学生諸君に謝意を表する。

参考文献

- 1) Guignard, J. C. : Combined Effects of Noise and Vibration on Man, University of Dayton Technical Report 73-51, pp.1~12, 1973.
- 2) 西宮 元：騒音・振動に関する社会反応とその特徴について、日本音響学会誌, Vol. 32, No. 3, pp. 147~155, 1976.
- 3) 豊田栄次：鉄道騒音振動と住民意識、騒音制御, Vol. 3, No. 2, pp. 24~27, 1979.
- 4) Fields, J. M. : Railway Noise and Vibration Annoyance in Residential Areas, J. Sound Vib., Vol. 66, No. 3, pp. 445~458, 1979.
- 5) Fleming, D. B. and Griffin, M. J. : A Study of the Subjective Equivalence of Noise and Whole-Body Vibration, J. Sound Vib., Vol. 42, No. 4, pp. 453~461, 1975.

- 6) 徳山久雄：騒音と振動の複合入力による感覚反応，騒音制御，Vol.6, No.3, pp.43～47, 1982.
- 7) 吉川昭吉郎，佐野和久，佐藤達哉：ラウドネスに対する振動の寄与，日本音響学会聴覚研究会資料，H-86-42, pp.1～8, 1986.
- 8) 肥田野直，瀬谷正敏，大川信明：心理教育統計学，培風館，pp.89～94, 1961.
- 9) 佐藤哲身：道路交通騒音・振動の不快感の評価に関する社会調査（1），日本建築学会北海道支部研究報告集（計画系），No.57, pp.105～108, 1984.
- 10) 佐藤哲身：騒音のうるさに及ぼす振動の影響：札幌市における交通騒音・振動に関する社会調査，日本音響学会騒音研究会資料，N87-01-2, pp.1～8, 1987.
- 11) 佐藤哲身：騒音のうるさに及ぼす振動の影響（2）：札幌市における鉄道騒音・振動に関する社会調査，日本音響学会騒音研究会資料，N89-1-05, pp.1～6, 1989.
- 12) Sato, T. : Two Surveys on the Effect of Vibration on Traffic Noise Annoyance, Proceedings of Inter-Noise 90, pp.1339～1342, 1990.

(1991年3月7日原稿受理，1991年7月4日採用決定)