

道路交通騒音に対する社会反応の地域比較研究

泉 清人

—北海道・九州・スウェーデンの比較—

1. 序論

1.1 研究の目的と背景

騒音の影響評価に関する調査研究は、これまで世界各地で数多く行われてきており、膨大なデータの蓄積がある。これらの調査結果を基に、一般的な暴露—反応関係を求めようとする研究も幾つか行われてきた。

Schultz^{x1)}は、1978年にそれまでの航空機・道路交通・高速道路・列車騒音に関する18の主な社会調査結果を基に、% highly annoyed と L_{dn} との関係が騒音源にかかわりなく、1本の総括曲線で表されることを見いだした。この成果はその後の研究や騒音基準等に多大の影響を与えたが、この研究に対しては幾つかの批判がある。例えば、Fields と Walker^{x2)}や Hall^{x3)}は暴露—反応関係は騒音源によって異なることを報告し、Kryter^{x4)}は評価カテゴリーのうち% highly annoyed だけを問題にしていること、および種々の騒音指標を統一的に L_{dn} に変換する方法に対して疑義を呈している。また、五十嵐^{x5)}や難波^{x6)}は異なる調査結果を相互に比較するためには、同一の心理的評価尺度と物理的評価尺度を用いることが重要であることを指摘している。

このような状況を背景として、1987年に室蘭工業大学建築環境研究室とヨーテボリ大学環境医学科との間で同一のアンケート方法、騒音測定方法を用いて、道路交通騒音に対する社会反応を直接比較しようとする共同研究が合意された。その後、1989年に熊本大学建築環境研究室がこの共同研究に参加し、より広域的な共同研究の体制が整った。この共同研究の目的は、同一の手法を用いてデータを蓄積して、主に以下に示す3項目を明らかにすることによって、より普遍的な騒音評価体系を確立するための基礎資料を提供することにある。1) 騒音に対する社会反応における異気候・異文化間の比較、2) 騒音の不快感に及ぼす非物理的要因の重要性、3) 騒音の評価指標の妥当性の検討。

本論文は、1990年と1991年に北海道・九州各2地区とスウェーデン1地区の合計5地区で行われた調査結果を基に、上述の目的の1)と2)に重点をおいて分析したものである。ただし、日本の4地区では同一の手法で調査されたが、日本とスウェーデンの研究体制の違いからス

ウェーデンでは必ずしも同一のアンケート項目やアンケート方法は使われなかった。従って、本論文では北海道と九州の社会反応データの比較分析に重点をおき、スウェーデンのデータは最終的なパス解析の結果を述べるにとどめたい。

1.2 本論文で使用する用語

1) L_{eq} , L_{dn} : L_{eq} とは、ある時間を考えたとき、変動騒音の全エネルギー (A特性) と等しいエネルギーを持ち、レベルが一定である騒音に置き換えた場合の騒音レベル。 L_{dn} とは、基本的に L_{eq} と同じであるが、夜間(22~7時)は騒音の影響が大きいことからこの時間帯の騒音レベルには10dB加算して、24時間にわたってエネルギー平均した騒音レベル。

2) L_1 , L_{10} など: 時間率騒音レベルのことで、ある時間帯を考えた場合、あるレベルを越える時間が例えばその10%であるとき、その騒音レベルを L_{10} と呼ぶ。

3) annoyance (disturbance) scale value: 今回のアンケート調査で騒音の影響評価に使用した尺度は、1. 不快でない、2. 少し不快、3. かなり不快、4. たいへん不快の4段階尺度である。本来この尺度は順序尺度であるが、距離尺度と見なして種々の統計計算に使用している。この尺度値を annoyance (disturbance) scale value と呼ぶ。

4) % highly annoyed, % annoyed: % highly annoyed とは、全反応者のうち上記の4段階の尺度の「4. たいへん不快」と答えた人の割合であり、% annoyed とは、「3. かなり不快」および「4. たいへん不快」と答えた人の割合をいう。

2. 方法

調査および測定は、住民反応を求めるためのアンケート調査、各住戸の騒音暴露量を測定するための騒音測定、および北海道と九州の住宅の窓構造の違いによる住宅内の騒音暴露量を推定するための住宅の遮音測定の3つからなる。

2.1 社会調査

アンケート調査は、面接法によって行われた。この方

表 2-1 調査項目

物理的要因	L_{eq} , L_{dn} , L_{max} , L_1 , L_5 , L_{10} , L_{50}
個人的要因	居住年数(家), 居住年数(地域), 引越し願望 騒音に対する敏感さ, 公害に対する考え方 仕事の有無, 自家用車の有無, 自動車の利用頻度 家族数, 年齢, 性別
環境要因	地域好感度 地域特性評価(買物の便, 自然環境, レジャー施設, 学校/幼稚園, 医療施設) 環境満足度(航空機騒音, 自動車による空気の汚れ 日当りの障害, 振動, 悪臭, 近隣騒音 建設工事の騒音, 自動車騒音)
住宅要因	住宅構造, 窓構造, 主要開口部の方向, 音源の見通し
騒音の具体的影響	不快感発生頻度, 騒音の卓越する時間帯 車両別不快感, 夏の窓の開閉, 窓対策 騒音の具体的影響(住宅内会話妨害, 戸外会話妨害 電話聴取妨害, TV・ラジオ聴取妨害 読書考えごとの邪魔, 寝付かれない 目覚める, 休息の邪魔, 振動) 医学的症状の有無(頭痛, 疲労感, イライラ, 神経質 その他の症状)

表 2-2 各地区における調査の概要

項目	北海道		九州		スウェーデン
	A	B	C	D	E
調査対象者 (人)	121	100	84	89	-
回答者 (人)	75	50	53	74	32
有効回答率 (%)	62.0	50.0	63.1	83.2	-
交通量 (台/日)	32,208	21,786	16,971	19,128	8,000
大型車 (台/日)	4,826	2,634	663	879	240
大型車混入率 (%)	15.0	12.1	3.9	4.6	3.0
$L_{eq}(24h)$ (dB(A))	65.2	64.4	68.1	70.7	68.2

法は、一般に回収率は悪く、多大の労力と時間を必要とするが、回答者を確実に同定できることやアンケートに対する態度、さらにアンケート項目以外の貴重な情報を得ることができる利点がある。アンケート項目や評価尺度は、室蘭工業大学とヨーテボリ大学との室蘭における予備調査によって決定されたものである。調査項目は、31の質問項目と調査者による5つの観察項目からなり、表 2-1 に示すように、個人的要因・環境要因・住宅要因・騒音の影響に大別される。

調査の概要を表 2-2 に示す。調査地区は北海道 2 地区、九州 2 地区およびスウェーデン 1 地区であり、調査住戸は、主要な道路に面して建つ 1 列目またはその道路に沿った 2 列目に建つ戸建住宅である。従って、主要な環境騒音は道路交通騒音である。交通量は調査時点で約 8000~32000 台/日であり、大型車も約 200~5000 台/日とかなりの範囲にわたっている。これらは騒音測定時に車種ごとに時間別交通量を計数した。

調査対象者は 18~65 歳で、住民票を基に 1 住戸につき 1 名がランダムに選ばれた。北海道では 221 名の調査対象者のうち 125 名(男 47 名, 女 78 名)から回答が得られ、九州では 173 名のうち 127 名(男 45 名, 女 82 名)から、スウェー

デンでは 32 名から回答が得られた。日本での地区ごとの回収率は 50~83% にわたっているが、全体の有効回収率は 64% であった。

ただし、スウェーデンでは郵送法を用い、数百サンプルを得ているが、戸建住宅で分析可能なデータを有するサンプルは 1 地区 32 サンプルであった。また、調査項目のうち振動以外の騒音の影響は調査していない。

2.2 騒音測定

騒音測定は、各道路の代表的な交通流が観測される代表点(基準点)における平日の終日測定と、道路端から住宅までの減衰量を測定するための道路端と住宅前での短時間(約 10 分間)の同時測定からなる。

終日測定は、道路端にマイクロホンを設置し、精密騒音計を通してテープレコーダに正時から約 50 分ずつ録音した。レベルの分析は、後日テープレコーダからの出力を、A 特性騒音レベルに相当する DC 出力に変換して、1 秒ごとに 1 時間につき 45 分ずつサンプリングして、騒音レベルデータとした。このデータを基に基準点における L_{eq} や時間率騒音レベルなどの種々の騒音指標を算出した。

同時測定は、対象住宅の道路に面する壁面前 1 m 地上 1.5 m の点と、その点に最も近い道路端で同時に約 10 分間騒音計を通してテープレコーダへ録音した。後程テープを再生し、異音等のチェックを行って、同じ期間の道路端と住宅の壁面前での短時間の L_{eq} を算出した。これらの値から道路から住宅までの騒音減衰量を求めた。ただし、北海道の B 地区では時間的な制約から全住戸について同時測定を行うことができなかつたので、加来・山下²⁸⁾の都市内住居地区における騒音の伝搬式を基に、全住戸の約 10% の実測値による補正を加味して、減衰量を推定した。

なお、スウェーデンでの騒音測定方法は細部にわたって、日本と同じではないが、基本的にはほぼ同様の測定と見なし得る。

2.3 住宅開放面の遮音測定

一般に、九州では 1 重のガラス窓が使われているが、北海道やスウェーデンでは 2 重サッシやペアガラスなどの 2 重窓が使われている。そのため戸外の騒音暴露量は同じでも住宅内での暴露量は異なり、種々の反応に相違を生じる可能性がある。このような窓構造の違いによる住宅内の暴露量を推定するために、北海道と九州の代表的な戸建住宅の開放面の遮音測定を行った。測定はアンケート調査を行った住宅ではないが、調査住宅とほぼ等価な大学の教職員や学生の戸建住宅を対象として、北海道で 13 戸、九州では 31 戸について実施した。

測定方法は日本建築学会推奨測定基準「建築物の現場

における外周壁の遮音性能測定方法」²⁹⁾に準じて行った。すなわち、居間のガラス面の斜め45度前方約4mに設置したスピーカから1オクターブバンドノイズを再生し、室内5点と窓前1mに設定した5点で同時に測定して、室間平均音圧レベル差を求めた。九州では63Hz～4kHzの7帯域で測定したが、北海道ではスピーカの性能から125Hz～4kHzの6帯域で測定を行った。

3. 結果と分析

3.1 住宅の遮音測定結果

1オクターブバンドごとの各住宅の遮音測定結果は北海道と九州ともに約10dBの範囲に及んでいる。これらの中央値を示したものが図3-1であり、北海道と九州の住宅の平均的な遮音性能の差は中高周波帯域で大きいことが分かる。九州での8つの道路交通騒音の録音記録から、最も交通量の多い夕方5時頃の5分間の道路交通騒音の1オクターブバンド分析結果を基に、図3-1の窓の遮音量を使って騒音の減衰量を求めると、九州の住宅の遮音性能は約24dB(A)、北海道の住宅は約32dB(A)であり、8dB(A)の差がある。

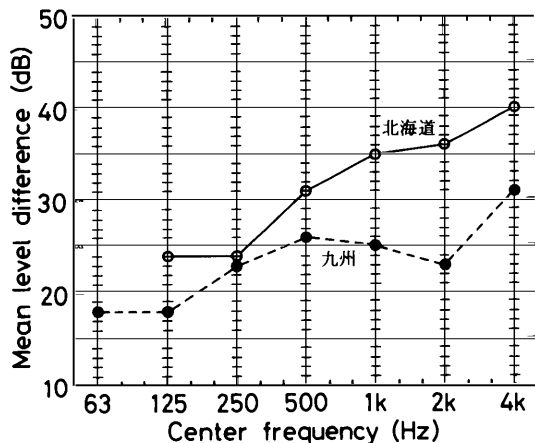


図3-1 北海道と九州の戸建住宅の平均的な遮音特性

3.2 騒音の影響と住宅内外の騒音暴露量との相関

表3-1は、北海道と九州のデータを基に、種々の騒音の影響と各種の室内外の騒音暴露量との相関係数を求めたものである。種々の影響と L_1 や L_5 などの高レベルの時間率騒音レベルとの相関が大きいですが、 L_{eq} や L_{10} との相関と比べて大差はない。また、各種の反応の中でもテレビ・ラジオ聴取妨害や振動による不快感と騒音暴露量との相関が比較的高い。表中のすべての場合に反応と住宅外の暴露量との相関が高く、住宅内の暴露量との相関は低い。特に、戸外のうるささ、室内会話妨害、戸外会話妨害、電話妨害、テレビ・ラジオ聴取妨害の場合に顕著であり、これらと住宅内外の暴露量との相関係数の同質性の検定の結果、ほとんどの場合に1%または5%で有意差が認められた。しかし、種々の反応と騒音暴露量

表3-1 住宅内外の騒音暴露量と騒音の影響との相関

	L_{eq}	L_{dn}	L_{max}	L_1	L_5	L_{10}	L_{50}
住宅内不快感 (外暴露)	0.265	0.260	0.234	0.269	0.269	0.267	0.257
住宅内不快感 (内暴露)	0.209	0.219	0.201	0.232	0.230	0.227	0.160
住宅外不快感 (外暴露)	0.182	0.169	0.105	0.191	0.190	0.186	0.174
住宅外不快感 (内暴露)	0.096	0.086	0.052	0.105	0.101	0.099	0.067
住宅内会話妨害 (外暴露)	0.237	0.234	0.174	0.246	0.247	0.243	0.212
住宅内会話妨害 (内暴露)	0.151	0.165	0.124	0.180	0.180	0.173	0.103
戸外会話妨害 (外暴露)	0.148	0.139	0.092	0.156	0.156	0.152	0.135
戸外会話妨害 (内暴露)	0.087	0.075	0.052	0.092	0.088	0.085	0.055
電話妨害 (外暴露)	0.265	0.258	0.197	0.271	0.270	0.268	0.258
電話妨害 (内暴露)	0.164	0.174	0.145	0.201	0.193	0.182	0.149
TV妨害 (外暴露)	0.376	0.372	0.327	0.380	0.381	0.379	0.364
TV妨害 (内暴露)	0.319	0.321	0.277	0.331	0.333	0.330	0.299
読書妨害 (外暴露)	0.289	0.289	0.274	0.289	0.290	0.289	0.277
読書妨害 (内暴露)	0.286	0.284	0.249	0.279	0.286	0.289	0.255
寝つかれ (外暴露)	0.119	0.121	0.103	0.123	0.124	0.122	0.101
寝つかれ (内暴露)	0.087	0.092	0.086	0.101	0.097	0.094	0.055
目覚める (外暴露)	0.270	0.268	0.240	0.273	0.273	0.271	0.260
目覚める (内暴露)	0.233	0.238	0.207	0.244	0.247	0.244	0.195
休息妨害 (外暴露)	0.222	0.218	0.178	0.226	0.226	0.223	0.213
休息妨害 (内暴露)	0.198	0.188	0.141	0.183	0.191	0.195	0.183
振動 (外暴露)	0.372	0.369	0.338	0.374	0.375	0.373	0.367
振動 (内暴露)	0.350	0.337	0.297	0.343	0.346	0.347	0.328
頭痛 (外暴露)	0.108	0.108	0.106	0.106	0.106	0.107	0.113
頭痛 (内暴露)	0.092	0.102	0.099	0.106	0.104	0.102	0.064
疲労 (外暴露)	0.044	0.037	-0.005	0.047	0.046	0.045	0.047
疲労 (内暴露)	0.033	0.011	-0.032	-0.006	0.004	0.018	0.061
イライラ (外暴露)	0.136	0.131	0.087	0.143	0.143	0.140	0.125
イライラ (内暴露)	0.102	0.084	0.052	0.088	0.090	0.092	0.082
神経質 (外暴露)	0.141	0.137	0.100	0.147	0.147	0.144	0.130
神経質 (内暴露)	0.120	0.101	0.069	0.101	0.106	0.108	0.130

* 5%で有意 ** 1%で有意

との相関は全体的に低く、暴露量だけでは反応の分散の高々十数パーセントしか説明し得ないことが分かる。

3.3 北海道と九州の暴露-反応関係の比較

図3-2(a)~(c)は不快感・TV妨害・「目覚める」について、北海道と九州での個人反応と L_{eq} との回帰直線および相関係数を示している。北海道と九州での回帰直線および相関係数の同質性の検定の結果、どの場合も有意差は見られなかった。

また、図3-3(a)~(c)は不快感、TV妨害・「目覚める」について、北海道と九州での L_{dn} と% annoyedあるいは% disturbedとの関係を比較している。一般に、暴露-反応関係は L_{dn} と% highly annoyedとの間で取られるが、北海道・九州ともにこの検討に有効なデータ数は100程度であるため、値がより安定する% annoyedあるいは% disturbedの値を採用した。どの場合も L_{dn} の各段階におけるデータ数が少ないため、変化傾向は滑らかではないが、 L_{dn} が増加すると不快感や妨害感は大きくなっており、その傾向に北海道と九州での差は認められない。以上のように北海道と九州での暴露-反応関係には系統的な差は見られなかった。

なお、スウェーデンのデータ数は30程度であり、この種の分析には少なすぎるため考察から除外している。

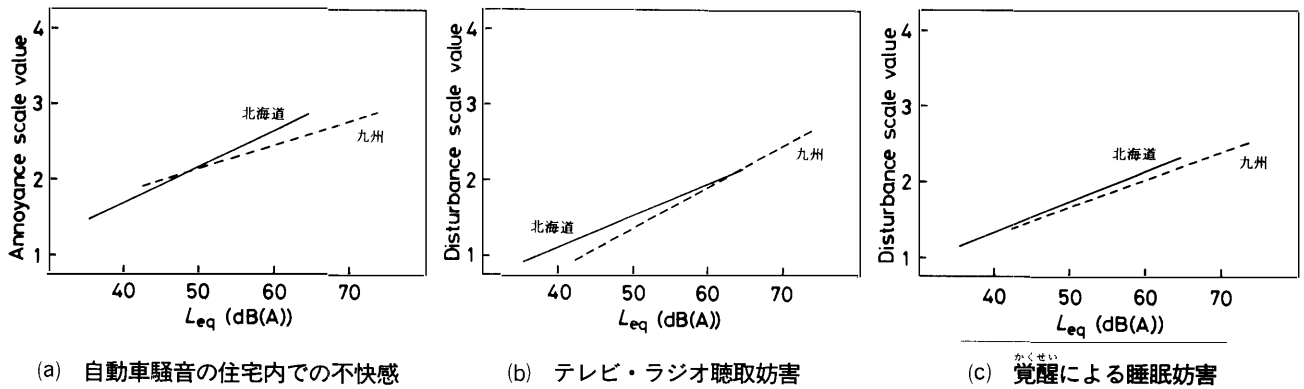


図3-2 不快感, TV 妨害, 覚醒に関する個人反応と L_{eq} との回帰直線および相関係数の北海道と九州の比較

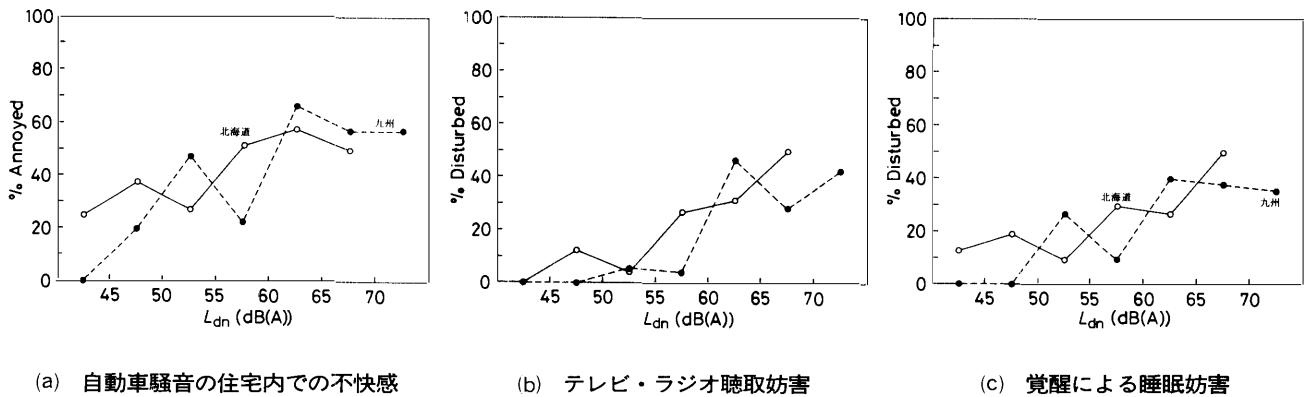


図3-3 不快感, TV 妨害, 覚醒に関する% annoyed (disturbed) と L_{eq} との関係の北海道と九州の比較

3.4 数量化理論II類による分析

表2-2より大型車の台数や大型車混入率は北海道の2地区で大きく、九州の2地区で小さい。これは北海道の2地区における道路が国道またはそれに準じた道路であったのに対し、九州では住宅地域内の道路が対象であったためである。

3.2の検討から、騒音評価指標による社会反応の分散の説明率は高々十数パーセント程度であり、社会反応の説明率をさらに高めるためには、騒音評価指標以外の物理的要因あるいは非物理的要因を考慮しなければならないことを示している。ここでは社会反応を数量化理論II類を用いて分析し、騒音評価指標を含め、個人的要因・環境要因・住宅要因など種々の要因の影響の程度や、北海道と九州における影響要因の相違について検討を行った。

数量化理論II類における説明変数は個人的要因・環境要因・住宅要因の各々の中で他の変数と相関の低い11変数を選び^{*)10)}、この他に北海道と九州で異なる窓の構造を加えた12変数とした。なお、説明変数間の相関を検討して、各変数の独立性を確認している。

外的基準には騒音に対する不快感と表2-1に示す13の騒音の具体的影響の計14の要因を選定し、それぞれの外的基準について前述した説明変数を用いて分析を行った。なお、窓の構造は北海道・九州各々の地域内では違

いがないため、説明変数からこれを除外し全部で11の説明変数とした。

両地域の各外的基準に関する説明変数の偏相関係数を比較した結果、以下の事項が明らかとなった。両地域で L_{eq} は半数近くの外的基準に大きな影響を及ぼしている。前述したように L_{eq} だけでは社会反応の分散を10%程度しか説明できないにもかかわらず、やはり L_{eq} は社会反応への主要な影響要因であるといえる。北海道では L_{eq} の他に普段の睡眠状態や居住年数あるいは年齢が多くの外的基準に影響を及ぼしている。九州でも北海道と同様に年齢や普段の睡眠状態が大きな影響を及ぼしているが、その他に自然環境や公害に対する考え方も多くの外的基準に影響を及ぼしている。

ここで特徴的なことは、普段の睡眠状態は両地域で主要な影響要因であるが、九州よりも北海道で圧倒的に多くの外的基準に影響を及ぼしているのに対して、自然環境は九州で多くの外的基準に影響を及ぼしていることである。すなわち、北海道では個人的要因や室内環境の影響が大きく、九州では屋外環境の影響が大きいといえよう。

外的基準を不快感に限れば、上述の他に騒音に対する敏感さの影響は両地域で大きく、また、自然環境の影響は北海道でも比較的大きい。

3.5 パス解析

数量化理論Ⅱ類による分析では、不快感やその他の社会反応と種々の説明変数の線形的な関係において、社会反応が説明変数から個々にどの程度影響を受けているかを検討した。しかし、不快感にはTV妨害や「目覚める」などの騒音の具体的影響が直接影響を及ぼしていることは容易に考えられ、 L_{eq} や大型車台数などの説明変数がTV妨害などを直接引き起こし、それらを介して不快感に間接的に影響を及ぼすことも考えられる。すなわち、不快感を被説明変数とすると、その説明変数に騒音の具体的影響を加え、説明変数間の重層的な関係を仮定することができる。しかし、このような不快感の因果構造を一般的な相関分析では説明することができない。

パス解析^{文11), 12), 13)}は、このような重層的な関係の中で、説明変数の被説明変数への直接的な効果と間接的な効果の双方を推定し、その合計を総合効果として評価し、さらに、間接的な効果の影響過程を明らかにすることができる手法である。

3.5.1 初期パスモデルの構成

パス解析では、既往の研究による知見と経験に基づいた直感的な判断から、日本での調査データに対しては図3-4に示すような初期パスモデルを構成する。 $X_1 \sim X_{12}$ は外因性変数と呼ばれ、モデル内で他の変数の影響を一切受けない変数である。 $X_{13} \sim X_{18}$ は他の変数の影響を受ける変数で内因性変数といわれる。モデルの構成に際して、パスで結ばれる変数間で因果関係が成立するには、1)単純相関が存在すること、2)時間的順序が存在すること、3)モデル外の共通原因変数が存在しないことの3条件が満たされる必要がある^{文12)}。

外因性変数は多重共線形性^{文12)}をできるだけ避けるために、数量化理論Ⅱ類で用いた互いに相関の小さい11個

または12個の説明変数とした。内因性変数には主に騒音の具体的影響の中から代表的な変数を選ぶ。図3-5は数量化理論Ⅲ類により騒音の具体的影響を分類したもので、大きく4つのグループに分かれている。各グループを代表する変数としてグループ内で他の要因と相関が高いTV妨害・「目覚める」・イライラと振動の4変数を内因性変数として選んだ。さらに、種々の環境要因の影響を受けていると思われる地域好感度と、最終的な被説明変数である不快感の2要因を加え6変数を内因性変数とした。

直接効果は、不快感を頂点とする6つの内因性変数について図3-6に示すように構造方程式を設定し、各パス係数 p_{ij} を計算

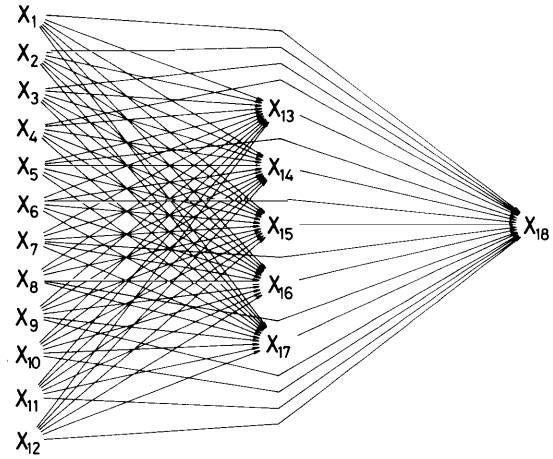


図3-4 道路交通騒音に対する不快感の初期パスモデル
 X_1 : L_{eq} 、 X_2 : 居住年数、 X_3 : 年齢、 X_4 : 性別、 X_5 : 車の所有、 X_6 : 夏窓を開けて寝るか、 X_7 : 普段の睡眠状態、 X_8 : 騒音に対する感受性、 X_9 : 公害に対する考え方、 X_{10} : 自然環境の評価、 X_{11} : 道路に対する開口面の方向、 X_{12} : 窓の構造、 X_{13} : 地域好感度、 X_{14} : TV・ラジオ妨害、 X_{15} : 目覚める、 X_{16} : 振動の不快感、 X_{17} : イライラ、 X_{18} : 道路交通騒音の不快感

図3-4 道路交通騒音に対する不快感の初期パスモデル

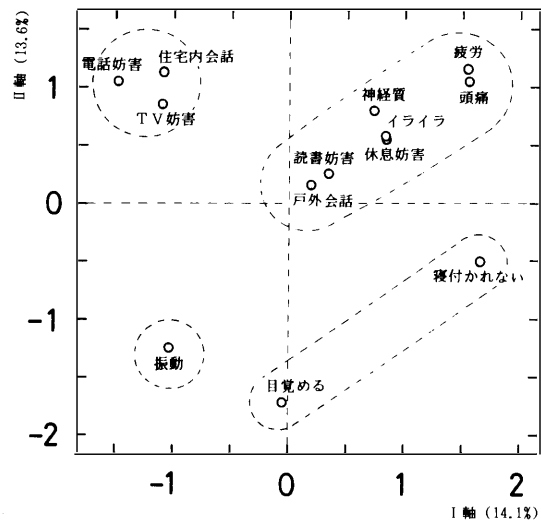


図3-5 騒音に対する具体的影響の数量化理論Ⅲ類による分析結果

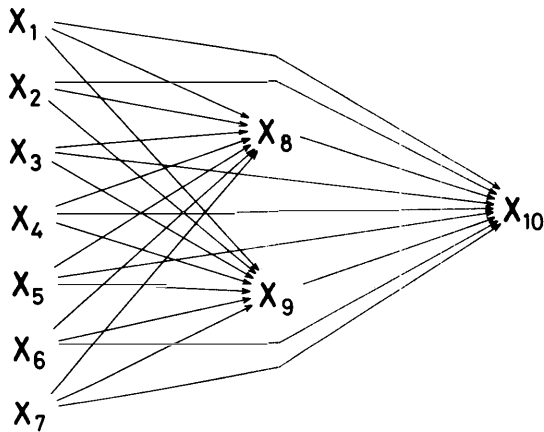
$$\begin{aligned}
 X_{13} &= p_{13.1}X_1 + p_{13.2}X_2 + p_{13.3}X_3 + p_{13.4}X_4 + p_{13.5}X_5 + p_{13.6}X_6 + p_{13.7}X_7 \\
 &\quad + p_{13.8}X_8 + p_{13.9}X_9 + p_{13.10}X_{10} + p_{13.11}X_{11} + p_{13.12}X_{12} + p_{13.6}E_{13} \quad \cdots (1) \\
 X_{14} &= p_{14.1}X_1 + p_{14.2}X_2 + p_{14.3}X_3 + p_{14.4}X_4 + p_{14.5}X_5 + p_{14.6}X_6 + p_{14.7}X_7 \\
 &\quad + p_{14.8}X_8 + p_{14.9}X_9 + p_{14.10}X_{10} + p_{14.11}X_{11} + p_{14.12}X_{12} + p_{14.6}E_{14} \quad \cdots (2) \\
 X_{15} &= p_{15.1}X_1 + p_{15.2}X_2 + p_{15.3}X_3 + p_{15.4}X_4 + p_{15.5}X_5 + p_{15.6}X_6 + p_{15.7}X_7 \\
 &\quad + p_{15.8}X_8 + p_{15.9}X_9 + p_{15.10}X_{10} + p_{15.11}X_{11} + p_{15.12}X_{12} + p_{15.6}E_{15} \quad \cdots (3) \\
 X_{16} &= p_{16.1}X_1 + p_{16.2}X_2 + p_{16.3}X_3 + p_{16.4}X_4 + p_{16.5}X_5 + p_{16.6}X_6 + p_{16.7}X_7 \\
 &\quad + p_{16.8}X_8 + p_{16.9}X_9 + p_{16.10}X_{10} + p_{16.11}X_{11} + p_{16.12}X_{12} + p_{16.6}E_{16} \quad \cdots (4) \\
 X_{17} &= p_{17.1}X_1 + p_{17.2}X_2 + p_{17.3}X_3 + p_{17.4}X_4 + p_{17.5}X_5 + p_{17.6}X_6 + p_{17.7}X_7 \\
 &\quad + p_{17.8}X_8 + p_{17.9}X_9 + p_{17.10}X_{10} + p_{17.11}X_{11} + p_{17.12}X_{12} + p_{17.6}E_{17} \quad \cdots (5) \\
 X_{18} &= p_{18.1}X_1 + p_{18.2}X_2 + p_{18.3}X_3 + p_{18.4}X_4 + p_{18.5}X_5 + p_{18.6}X_6 + p_{18.7}X_7 \\
 &\quad + p_{18.8}X_8 + p_{18.9}X_9 + p_{18.10}X_{10} + p_{18.11}X_{11} + p_{18.12}X_{12} + p_{18.13}X_{13} \\
 &\quad + p_{18.14}X_{14} + p_{18.15}X_{15} + p_{18.16}X_{16} + p_{18.17}X_{17} + p_{18.6}E_{18} \quad \cdots (6)
 \end{aligned}$$

X_1 : L_{eq} 、 X_2 : 居住年数、 X_3 : 年齢、 X_4 : 性別、 X_5 : 車の所有、 X_6 : 夏窓を開けて寝るか、 X_7 : 普段の睡眠状態、 X_8 : 騒音に対する感受性、 X_9 : 公害に対する考え方、 X_{10} : 自然環境の評価、 X_{11} : 道路に対する開口面の方向、 X_{12} : 窓の構造、 X_{13} : 地域好感度、 X_{14} : TV・ラジオ妨害、 X_{15} : 目覚める、 X_{16} : 振動の不快感、 X_{17} : イライラ、 X_{18} : 道路交通騒音の不快感
 p_{ij} : 変数 X_j から変数 X_i へのパス係数、 E_i : 残差項

図3-6 6つの内因性変数に対する構造方程式

することにより求められる。間接効果はパスで結ばれる変数間のパス係数の積で、総合効果は直接効果と間接効果の和で推定される。パス係数は標準化された変数の偏回帰係数（標準回帰係数）であるから、種々の要因の不快感への影響を、そのモデル内で数量的に相互に比較することができる。なお、調査データの多くは順序尺度データであるが、ここではこれらを距離尺度データとして取り扱って分析を進めた。

スウェーデンの調査データに対しては図3-7のような初期パスモデルを構成した。



X₁: L_{eq}, X₂: 大型車台数, X₃: 自然環境の評価, X₄: 居住年数, X₅: 仕事の有無, X₆: 結婚しているか, X₇: 子供の数, X₈: 地域好感度, X₉: 振動の不快感, X₁₀: 道路交通騒音の不快感

図3-7 スウェーデンでの道路交通騒音に対する不快感の初期パスモデル

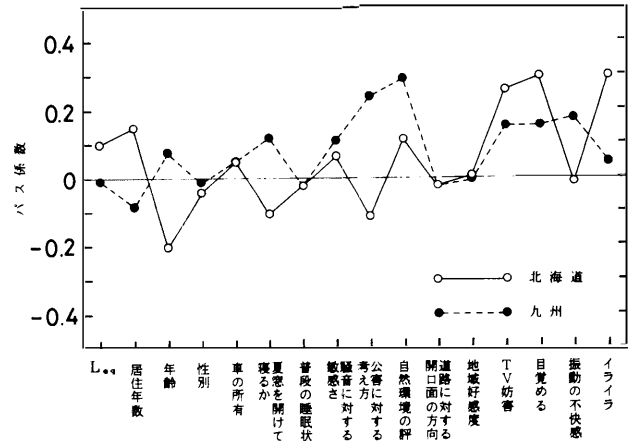
3.5.2 北海道と九州データのパス解析

北海道と九州において不快感への影響要因や不快感構造を比較検討するために、両地域についてパス解析を行った。外因性変数は窓の構造を除いた11変数で、初期パスモデルは図3-4と同様のパスモデルである。

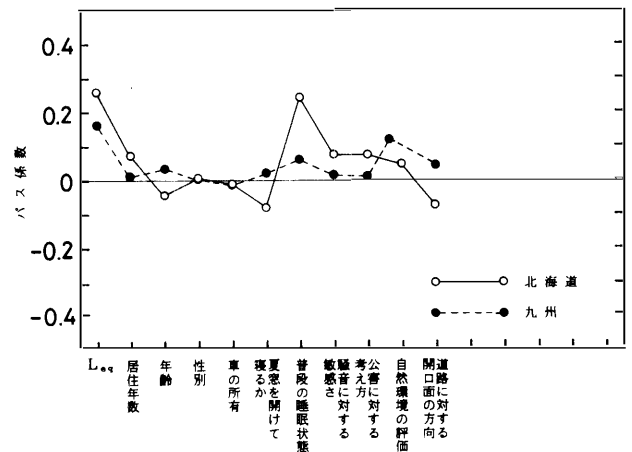
図3-8(a), (b), (c)はその分析結果で両地域の不快感への直接効果・間接効果・総合効果を比較して示している。寄与率は北海道で0.55, 九州で0.49であり、両地域ともこのモデルで不快感反応の分散のほぼ50%以上を説明することができる。

図3-9(a), (b)は両地域で統計的に有意な要因や重要であると思われる要因によって再構成した修正パスモデルである。両地域とも説明変数は大幅に減っているが、寄与率は北海道で0.50, 九州で0.46で、寄与率を大きく低下させることなく簡略化されている。また、両地域の不快感は最終的にこの修正パスモデルで説明され、北海道と九州の不快感構造の相違が明確に示されている。

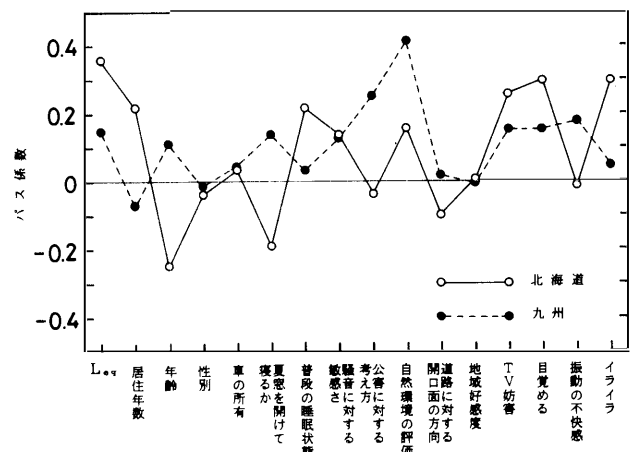
北海道では不快感に関して、「イライラ」・「目覚める」・TV妨害・年齢の直接効果が大きく、統計的に5%で有意であった。その他に居住年数・自然環境が大きく、外因性変数は数量化理論II類による分析と同様に個人的要因



(a) 直接効果



(b) 間接効果

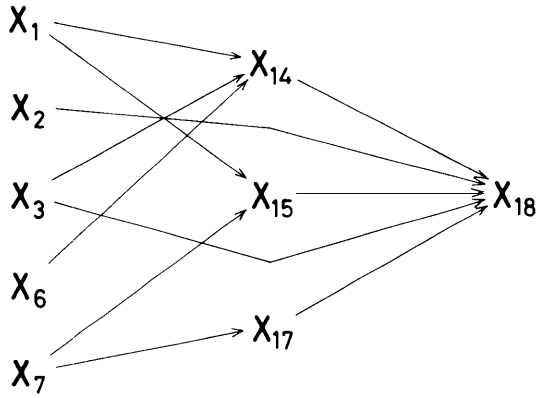


(c) 総合効果

図3-8 北海道と九州での不快感に対するパス係数の比較

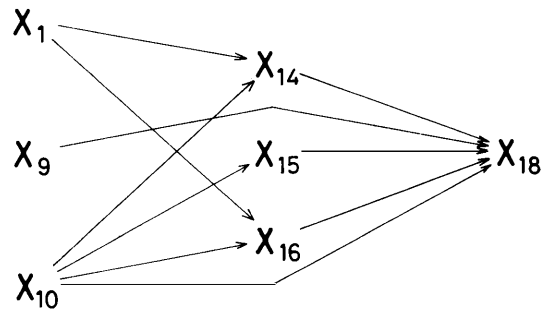
の影響が大きい。間接効果はL_{eq}や普段の睡眠状態が大きく、総合効果でL_{eq}が最も大きくなっている。

九州では外因性変数である自然環境と公害に対する考え方の直接効果が統計的に有意であり、環境要因の影響が大きい。内因性変数の直接効果は北海道のように特に



(a) 北海道の修正パスモデル ($R^2=0.500$)

X_1 : L_{eq} 、 X_2 : 居住年数、 X_3 : 年齢、 X_6 : 夏窓を開けて寝るか、
 X_7 : 普段の睡眠状態、 X_{14} : TV・ラジオ妨害、 X_{15} : 目覚める、 X_{17} : イライラ、
 X_{18} : 道路交通騒音の不快感



(b) 九州の修正パスモデル ($R^2=0.455$)

X_1 : L_{eq} 、 X_9 : 公害に対する考え方、 X_{10} : 自然環境の評価、 X_{14} : TV・ラジオ妨害、
 X_{15} : 目覚める、 X_{16} : 振動の不快感、 X_{18} : 道路交通騒音の不快感

図3-9 北海道と九州の不快感に対する修正パスモデル

大きい要因はないが、TV妨害や「目覚める」・振動の不快さの効果は比較的大きい。 L_{eq} は北海道と同様に直接効果は小さいが、間接効果は大きい。

北海道と九州での以上のパス解析の結果は次のように要約される。両地域で内因性変数である騒音の具体的影響の直接効果が比較的大きく、不快感への主要な影響要因である。また、直接効果は北海道では個人的要因、九州では環境要因で大きく、数量化理論による分析結果と一致した。 L_{eq} については両地域とも、直接効果は小さく、内因性変数を介する間接効果が大きい。

3.5.3 スウェーデンのデータに対するパス解析

図3-10は、スウェーデンのデータに対するパス解析の結果を示している。この分析結果を基に3.5.2と同様に修正パスモデルを求めたものが図3-11である。道路交通騒音の不快感へは振動の直接効果が際立って大きく、続いて自然環境・居住年数・地域好感度の効果が大きい。ただし、日本とスウェーデンの結果の違いが、地域特性を反映したものか調査方法や調査項目の違いに起因したものかを決めるには、別途、同一手法によって調査し、データを蓄積する必要がある。

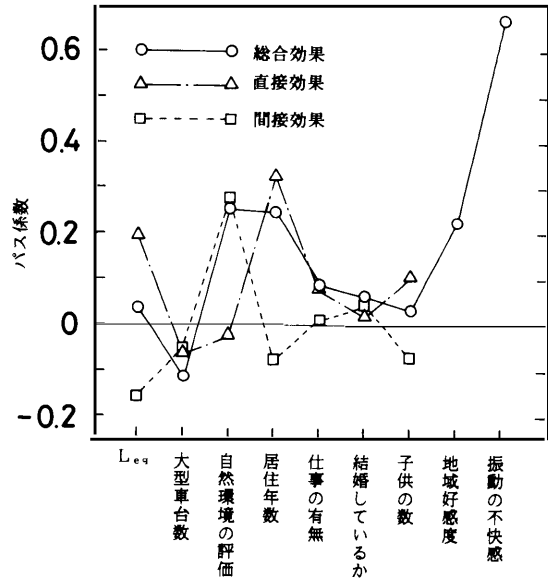
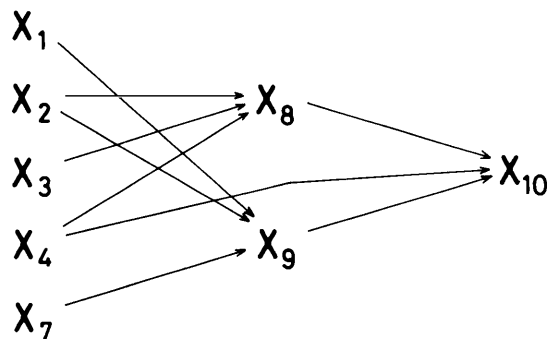


図3-10 スウェーデンでの道路交通騒音の不快感に対するパス係数



X_1 : L_{eq} 、 X_2 : 大型車台数、 X_3 : 自然環境の評価、 X_4 : 居住年数、
 X_7 : 子供の数、 X_8 : 地域好感度、 X_9 : 振動の不快感、 X_{10} : 道路交通騒音の不快感

図3-11 スウェーデンの不快感の修正パスモデル

4. 検討

4.1 室内外騒音暴露量と反応

寒冷な地域と温暖な地域では戸建住宅の開放面の構造が異なっている。すなわち、北海道やスウェーデンでは2重サッシまたはペアガラスが使われているが、九州では1重ガラス窓が一般的である。当初、このような住宅構造の違いは室内の騒音暴露量の違いを生じ、種々の室内での活動妨害に対する影響の程度に差が生じるのではないかと仮定された。しかし、結果は逆で、種々の反応へは住宅内暴露量よりも住宅外暴露量の方が対応が良かった。このことは以下のように考えられる。

まず、住宅の遮音性能の測定はできる限り気密な状態で行っているが、日常生活で昼間では開口部を開けていることも考えられるので、遮音性能データから得られた室内暴露量は現実の室内暴露量よりも小さいと考えられる。また、住宅外の不快感を除いて住宅内での影響を質

問しているとはいえ、庭先や住宅周辺での騒音の影響が相当反映されていると考えることができる。

このことは Griffiths 他^{x15)}、de Jong^{x15)}、香野他^{x16)}の知見とも一致している。香野他は個人の騒音暴露量や屋外騒音レベルと種々の反応との相関を比較し、屋外騒音レベルとの相関が良いことを報告している。Griffiths 他^{x14)}は季節の変化によって窓の開放頻度は有意に変化するが、道路交通騒音の社会反応へは季節の影響のないことを示した。de Jong^{x15)}は列車騒音について、測定戸数は少ないものの、住宅内外の数点での測定値と会話妨害との対応を検討し、住宅内の暴露量よりも屋外での最大の暴露量との相関が最も良いことを示した。Griffiths や de Jong はその原因として「知覚の恒常性」あるいは「真の対象物への回帰」を挙げている。すなわち、住民の反応は室内の暴露量を直接反映しているのではなく、音源そのものの影響が相当大きいこと、従って、騒音対策としては音源対策が重要であることを示唆している。

住宅外の暴露量の方が住宅内の暴露量よりもすべての反応と相関が良いこと、および測定の手軽さを考えると、住宅外の暴露量の方が騒音暴露量の代表値として適切である。以上のことは騒音測定を行う上で極めて都合の良い結果である。

4.2 北海道と九州の暴露-反応関係の比較

今回の結果からは単純な暴露-反応関係には北海道と九州での気候による違いは見られないことが判明した。また、Griffiths 他^{x14)}は、同じ地域で季節によって住民反応に差がないことを報告している。Griffiths 他は、ほぼ同じ回答者に同様のアンケート調査を行っており、本研究では回答者は異なるものの、同一のアンケート方法で調査を行っているため、データの比較精度は非常に高い。これらのことから熱帯と極寒の地といった極端に気候が違わない限り、その影響はほとんどないことが示唆される。一方、Kryter^{x7)}は多くの事例を引用して温暖な地域と寒冷な地域とでは少なく見積っても5dBの差があることを述べている(文献7, p.644)。Kryter は異なる調査結果を比較しているため、そこには種々の誤差が含まれている可能性がある。しかしながら、本研究のデータ数は少なく、明確な結論を導くためには、さらに、データを蓄積する必要があると考えている。

4.3 北海道と九州における影響要因の比較

数量化理論II類による分析において、種々の社会反応へは北海道で個人的要因、九州で環境要因が大きく寄与していることが明らかになったが、パス解析による分析でも不快感について同様の結果を得た。両地域におけるこのような影響要因の違いは気候差によるものと、用途地域の差による2つの原因が考えられる。すなわち、寒

冷な北海道と比較して温暖な九州では、日常生活において窓を開けることが多いため生活環境、特に自動車の排ガスによる大気汚染や騒音への関心が高く、環境要因の影響が大きくなる可能性がある。また、先に2でも述べたように北海道の調査地域は国道またはそれに準ずる道路沿いで、いわゆる商業地域であるのに対して、九州では住宅地域内の主要道路が対象であった。九州2地区では表2-2に示すように自動車台数が少なく、大型車混入率も小さく、全体として比較的閑静な地区であるため、自動車騒音による生活環境の悪化に対する関心が高かったためと思われる。しかし、両地域の差がどちらの原因によるものかは今回の調査では特定できなかった。

また数量化理論とパス解析による分析で、窓の構造は不快感にはほとんど影響を及ぼしていなかった。このことは3.2の結果と一致している。

4.4 騒音の不快感へ影響する重要要因

パス解析を調査結果に適用し、非物理的要因などの不快感への影響を検討したが、Taylor^{x11)}をはじめ他の研究結果と共通した幾つかの知見を得た。

Nemecek 他^{x17)}は、道路交通騒音による不快感は昼間はTV妨害や休息妨害の不快感が主で、夜間は睡眠妨害の不快感であることを示し、不快感の直接の原因としてTV妨害や睡眠妨害を挙げている。Taylorも航空機騒音による社会反応をパス解析により分析し、航空機騒音の $L_{eq(24h)}$ と騒音に対する敏感さが内因性変数である会話妨害や睡眠妨害に大きな直接効果を及ぼし、さらに会話妨害や睡眠妨害が不快感へ影響を及ぼしていることを報告している。今回の分析においても、種々の外因性変数の間接効果をTV妨害や「目覚める」・イライラなどの要因が媒介するとともに、これらの騒音の具体的影響が不快感の直接的な原因であった。騒音源が航空機騒音と道路交通騒音と異なるにもかかわらず、聴取妨害や睡眠妨害が不快感を引き起こし、それらが外因性変数の不快感へ間接効果を媒介するという不快感の因果構造と媒介要因が一致した。

また、Taylorは航空機騒音の $L_{eq(24h)}$ の不快感への直接効果と間接効果の双方がともに大きいことを報告しているが、本研究でも L_{eq} の間接効果が大きいことが明らかにされており、これは上述した聴取妨害や睡眠妨害を介しての不快感への間接効果である。さらに、個人的要因について、騒音に対する敏感さはすべての変数の中で最も大きい総合効果を持つ要因であるが、年齢・教育・子供の数などの影響はほとんどないと述べている。

Borsky^{x18)}も年齢・性別・教育といった個人的要因の影響が小さいことを報告している。本研究におけるパス解析で騒音に対する敏感さは外因性変数の中では不快感に対して3番目に大きい総合効果を持ち、数量化理論II類

による分析でも3番目に大きい影響を及ぼしており、不快感への重要な影響要因であった。性別や車の所有などの個人的要因の不快感への効果は小さいが、年齢や居住年数の影響は比較的大きい。しかし、北海道と九州でその影響の仕方が逆であり、これらの要因の影響の有無については断定できない。

4.5 パス係数による非物理的要因の効果の定量化

パス係数は平均0、標準偏差1に標準化された変数の偏回帰係数である。このことを利用して北海道と九州を合せたデータのパス解析結果を基に非物理的要因の定量化、すなわち、 L_{eq} と非物理的要因との相補関係を検討する。

例えば、 X_1 (L_{eq}) と X_{18} (不快感4段階尺度) については、 X_1 の標準偏差1単位の変化が X_{18} に標準偏差0.265の変化をもたらすことを示す。このことから X_{18} を標準偏差で1単位変化させるためには X_1 を標準偏差で計って $1/0.265=3.77$ 変化させねばならないことになる。 X_1 のデータの標準化以前の標準偏差が7.47dBであるから、これは騒音レベルでは $7.47 \times 3.77=28.2$ dBの変化となる。同様に自然環境(5段階尺度)について、 X_{18} を標準偏差で1単位変化させるのに必要な数値を計算すると標準偏差が0.886であるから3.39カテゴリーである。これは不快感を標準偏差で1単位変化させることで L_{eq} 28.2dBの変化と等価であるから、自然環境の1カテゴリーの変化は $28.2/3.39=8.3$ dBに相当する。すなわち、自然環境に対する評価が1カテゴリー大きい地域では騒音レベルを約8dB下げる必要があることになる。このように他の主要な要因について1カテゴリーの変化と等価な騒音レベルを計算すると、騒音に対する敏感さ(4段階尺度)7.2dB、TV妨害(4段階尺度)6.5dB、「目覚める」(4段階尺度)6.1dB、イライラ(2段階尺度)12.9dBであり、イライラを除けば約6~7dBの変化に相当する。

このような検討は、今のところデータ数が少ないため、影響の程度を定量化するための1つの試みを示したに過ぎない。しかし、データを蓄積して、自然環境の評価やTV妨害の程度など回答者による主観的な評価をそれと等価な騒音レベルに変換することによって、その要因を騒音評価法に組み込める可能性を示唆している。

4.6 パス解析の有効性

北海道と九州における不快感についての数量化理論II類による説明率(相関比)は北海道で0.40、九州で0.52であり、4地区全体については0.30であった。一方パス解析での直接パスによる説明率(寄与率)は各々0.55、0.49、0.44であり、九州についてはほぼ同程度であるが、北海道や4地区全体の場合は約0.1向上している。これは不快感に寄与していると考えられるTV妨害や「目覚め

る」・イライラなどの騒音の具体的影響を内因性変数としてモデル内に導入したことで、それらの不快感への直接効果が大きいためである。

パス解析では数量化理論II類の分析結果と同様な結果を得るとともに、各要因の不快感への直接効果と間接効果を特定し、 L_{eq} がTV妨害や「目覚める」などの内因性変数を介して不快感へ大きな影響を及ぼしていることや、内因性変数である騒音の具体的影響が外因性変数の不快感への間接効果を媒介する要因として重要であることなど、数量化理論では知り得ない知見を得ることができた。このようにパス解析が数量化理論を含む他の相関分析に比べ優れていることが明らかであるが、その最大の理由として不快感に対する各要因の間接効果を特定し、その影響過程を知ることができる点にある。すなわち、パス解析は従来の手法では明らかにされない各要因の潜在的影響を解明することのできる有効な手法であるといえる。

5. 結論

本研究では、北海道・九州・スウェーデンでの道路交通騒音の影響に関するアンケート調査と騒音測定データを基に、住民反応と騒音暴露量との簡単な関係を検討するとともに、道路交通騒音に対する不快感の構造を明らかにするためにパス解析等の多変量解析を適用した。その結果、住宅内暴露量よりも住宅外暴露量の方が各種の反応との相関が良いこと、北海道と九州での暴露-反応関係には系統的な差がないことを明らかにした。また、道路交通騒音の不快感へ影響する重要要因を抽出し、不快感のパスモデルを構築することによって、不快感の説明率を大幅に向上させ、精度の高い地域比較を行った。さらに、騒音の不快感への非物理的要因の重要性を指摘し、これらの定量化に関して1つの試みを提示した。しかし、初期の目的の1つである騒音の評価指標の妥当性を検討するためには、さらにデータを蓄積する必要がある。

騒音の社会調査において各住戸の騒音暴露量の測定は最も労力の要する作業である。Fields²¹⁾も指摘しているように、騒音の影響評価に関する社会調査研究をさらに発展させるためには、騒音測定法を簡便にすることが不可欠である。道路交通騒音の伝搬性状は住宅や障害物の影響を直接受けるため、航空機騒音に比べ、非常に複雑である。現在、道路交通騒音の住宅地における実用的な伝搬予測式として、加来・山下式が提案されている。しかし、この式は広域的な予測に有効で、道路交通騒音の影響が深刻な道路近傍の伝搬予測には有効でないように思われる。道路交通騒音の社会調査と併用できる、よりミクロな予測手法の開発が望まれる。

なお、スウェーデンでの調査は、日本の調査と同一と

見なせるものではなかった。精度の高い国際比較研究へさらに発展させるためには、今後スウェーデンでも日本と同一の調査を実施しなければならない。

謝 辞

本研究の一部は(財)住宅総合研究財団の平成3年度研究助成金によった。また、本研究は筆者らとヨーテボリ大学の R. Rylander 教授らとの共同研究の一部をまとめたものであり、同教授からは研究全般にわたって的確な助言を賜った。記して、感謝の意を表す。

<参考文献>

- 1) Schultz, T. J. : Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 64(2), pp. 377-405, 1978.
- 2) Fields, J. M. and Walker, J.G. : Comparing the Relationships between Noise Level and Annoyance in Different Surveys : A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison, J. Sound Vib., Vol.81(1), pp.51-80, 1982
- 3) Hall, F. L. : Community Response to Noise: Is All Noise the Same?, J. Acoust. Soc. Am., Vol.76(4), pp.1161-1168, 1984.
- 4) Kryter, K. D. : Community Annoyance from Aircraft and Ground Vehicle Noise, J. Acoust. Soc. Am., Vol.72(4), pp. 1222-1242, 1982.
- 5) 五十嵐寿一：騒音に関する社会調査の方法について、日本音響学会騒音研究会資料、N-89-42, 1989.
- 6) 難波精一郎：社会調査の相互比較、日本音響学会騒音研究会資料、N-89-43, 1989.
- 7) Kryter, K. D. : The Effects of Noise on Man, Academic Press, Second Edition, 1985
- 8) 加来治郎, 山下充康：騒音の市街地浸透に関する研究、日本音響学会誌, Vol. 35(5), pp.257-261, 1979.
- 9) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針、技報堂出版, 1979.
- 10) 日本建築学会編：建築・都市計画のための調査・分析方法、井上書院, 1988
- 11) Taylor, S. M. : A Path Model of Aircraft Noise Annoyance, J. Sound Vib., Vol.96(2), pp.243-260, 1984
- 12) Asher, H. B.著, 広瀬弘忠訳：因果分析法、朝倉書店, 1987
- 13) 安田三郎, 海野道郎共著：社会統計学、丸善株式会社, 昭和63年
- 14) Griffiths, I. D., Langdon, F. J. and Swan, M. A. : Subjective Effects of Traffic Noise Exposure : Reliability and Seasonal Effects, J. Sound Vib., 71(2), pp.227-240, 1980
- 15) de Jong, R. G. : Some Developments in Community Response Research since the Second International Workshop on Railway and Tracked Transit System Noise in 1978. J. Sound Vib., 87(2), pp.297-309, 1983
- 16) 香野俊一他3名：環境騒音と個人の意識ならびに騒音暴露について、電子情報通信学会技術研究報告, EA81-15, 1981
- 17) Nemecek, J., Wehrli, B., and Turrian, V. : Effects of the Noise of Street Traffic in Switzerland, a Review of Four Surveys, J. Sound Vib., Vol.78(2), pp.223-234, 1981
- 18) Borsky, P. N. : Review of Community Response to Noise, Proceeding of the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem, pp. 453-474, 1980
- 19) Fields, J. M. : The Effects of Numbers of Noise Events on People's Reaction to Noise : An Analysis of Existing Survey Data, J. Acoust. Soc. Am., Vol.75(2), pp. 447-467, 1984.

<研究組織>

主査	泉 清人	室蘭工業大学工学部教授
委員	佐藤 哲身	北海学園大学工学部教授
〃	宮原 和明	長崎総合科学大学工学部教授
〃	藤本 一寿	九州大学工学部助教授
〃	矢野 隆	熊本大学工学部助教授
〃	山下 俊雄	有明工業高等専門学校助教授
〃	平手小太郎	東京大学工学部助教授