

報告 (Note)

戸建住宅における鉄道騒音・振動に対するアノイアンスの複合効果

横島 潤紀, 森原 崇*, 松本 泰尚**
(環境情報部, *石川工業高等専門学校, **埼玉大学)

Combined effects of railway-induced noise and ground-borne vibrations from on annoyance
Shigenori YOKOSHIMA, *Takashi MORIHARA, *Yasunao MASTUMOTO
(Environmental Information Division, *National Institute of Technology, Ishikawa College,
**Saitama University)

キーワード： 社会調査, 鉄道騒音, 鉄道振動, アノイアンス, 複合効果

1 はじめに

2018年10月に公表された“ENVIRONMENTAL NOISE GUIDELINES for the European Region” (以下、「ガイドライン」と記す。) ¹⁾では、音源別に、1日の騒音曝露に関する勧告値が L_{den} で示されており、鉄道騒音の勧告値は 54 dB となっている。この数値を、我が国における鉄道騒音に係る基準等との比較を試みる。「新幹線鉄道騒音に係る環境基準について」(昭和50年環境庁告示第46号)では、最大値ベースの評価指標が設定されており、主として住宅の用に供される地域での基準値は 70dB 以下である。現行の新幹線鉄道の路線の中では、東海道新幹線の運行本数が最も多いことから、この騒音発生状況を想定して基準値の上端値を L_{den} に換算すると約 57 dB となる。一方、「在来鉄道の新設又は大規模改良に際しての騒音対策の指針について」(平成7年環大一174号)では、生活環境の保全及び騒音問題の未然防止のための指針値が時間帯別の等価騒音レベルで示されており、昼間が 60 dB 以下、夜間が 55 dB 以下となっている。これらの指針値の上端値を L_{den} に換算すると約 64 dB となる。すなわち、新幹線鉄道騒音の基準値、在来鉄道騒音の指針値いずれもガイドラインで示されている勧告値より高い数値で設定されていることがわかる。

在来線鉄道と新幹線鉄道を対象に騒音曝露量と高度のアノイアンスの反応割合との関係と比較すると、新幹線鉄道騒音が在来鉄道騒音に比べて高い傾向を示すことがわかっている ²⁾。この差が生じる要因について、田村 ³⁾は、新幹線鉄道沿線住民の多くは、在来線鉄道沿線に比べて、騒音

問題に対する強い関心を抱くとともに、主音源の必要性を認めないことを明らかにしている。このことは、鉄道騒音に対する社会反応を議論する上では、新幹線鉄道と在来線鉄道に沿線それぞれの騒音に対する意識が異なることから、その差異を考慮する必要があることを示すものである。

続いて、高度のアノイアンスの反応割合が高い新幹線鉄道沿線での社会調査から、横島ら ⁴⁾は新幹線鉄道からの騒音・振動に対する複合被害感に着目し、曝露量の増加とともに複合被害感はもちろん、騒音、振動それぞれの被害感が増加することを明らかにした。さらに、Yokoshima et al ⁵⁾は、新幹線鉄道沿線の住宅地において、1995年から2013年の期間に別個に実施された6回の社会調査により得られたデータセットを用いて二次分析を行った。多重ロジスティック回帰分析の結果から、騒音と振動それぞれのアノイアンスに対して、それぞれの曝露量により複合効果が生じることを示した。しかしながら、在来線鉄道からの騒音・振動を対象として、両者の曝露によるアノイアンスの複合効果に関しては、Salford 大学で一連の研究 ⁶⁾が報告されているが、日本での調査結果からは十分に検討されてはいない。

以上のことを踏まえ、筆者らは、鉄道種別を在来線鉄道と新幹線鉄道に分類し、いずれの鉄道種別でも多重ロジスティック解析の結果から、騒音の高度のアノイアンスに対して、騒音はもちろん振動の曝露が複合的に働くことを示した ⁷⁾。さらに、同様の手法により、振動の高度のアノイアンスに対しても、振動のみならず騒音の曝露による騒音と振動のアノイアンスの関連も踏まえて複

合効果を俯瞰的に捉えるために、構造方程式モデル別に適用して、騒音と振動それぞれの曝露量からアノイアンスへの影響の程度を明らかにするとともに、新幹線鉄道と在来線鉄道での影響度の比較を試みた。

2 分析に用いたデータセット

2.1 社会調査の概要

本稿では、下記の社会調査により得られたデータセットのうち、戸建住宅の個票データに限定して分析を行った。

在来線鉄道に関しては、表1に示す CR01～CR05 の5つの社会調査から得られたデータセットを用いる。新幹線鉄道に関しては、表2に示す SR01～SR07 の7つの社会調査から得られたものを用いる。これらの調査のうち、CR05 と SR05 は、熊本県内で実施された同一の社会調査から得られたデータセットであるが、その他は別個に実施された社会調査により得られたものである。

2.2 社会反応

すべてのデータセットには、騒音、振動それぞれのアノイアンス評価が得られていた。CR01 と SR01 のアノイアンスの評価尺度は、騒音、振動ともに共通で、「気にならない」、「我慢できる」、「ど

リングの一手法である多母集団同時分析を鉄道ちらかといえれば我慢できる」、「どちらかといえれば我慢できない」、「我慢できない」の5段階尺度で得られていた。その他のデータセットでも、騒音と振動のアノイアンスは、共通のものとなっていた。具体的には、「まったく…ない」、「それほど…ない」、「多少」、「だいぶ」、「非常に」の5段階の修飾語と「悩まされる」、「邪魔される」、「不快である」の評価語を単独または組み合わせたものがアノイアンスとして得られていた。

2.3 騒音・振動曝露量

騒音曝露量に関しては、列車ごとの単発騒音暴露レベル L_{AE} が、調査地域における実測または最大騒音レベルからの推計により得られていた。この L_{AE} と基準時間帯別の運行本数、基準時間帯の平均的な運行本数比等に基づき、時間帯補正等価騒音レベル L_{den} (昼間：7時～19時・夕方：19時～22時・夜間：22時～7時) を回答者ごとに推計し、整数単位で整理したものを騒音暴露量とした。

続いて、振動曝露量に関しては、回答者宅内での振動の推計には多大な困難がある。このことから、多くのデータセットでは、騒音測定とほぼ同じ地点で、通過列車ごとに鉛直方向の振動レベルの最大値 L_{Vzmax} が得られていた。本稿では、その

表1 在来線鉄道沿線での社会調査の概要

ID	調査年度	調査場所	調査手法	アノイアンス尺度	データ数
CR01	'97	神奈川県	訪問配布・郵送回収	我慢できない	310
CR02	'02	北海道	訪問配布・郵送回収	ICBEN 尺度	422
CR03	'04-'06	福岡県	訪問配布・郵送回収	ICBEN 尺度	653
CR04	'11	埼玉県	訪問配布・郵送回収	ICBEN 尺度	171
CR05	'11-'12	熊本県	訪問配布・郵送回収	ICBEN 尺度	559

表2 新幹線鉄道沿線での社会調査の概要

ID	調査年度	調査場所	路線	Method ^b	Annoyance	データ数
SR01	'95-'96	神奈川県	東海道	訪問配布・郵送回収	我慢できない	709
SR02	'01-'03	神奈川県	東海道	訪問配布・郵送回収	ICBEN 尺度	872
SR03	'03	福岡県	山陽	訪問配布・郵送回収	ICBEN 尺度	358
SR04	'04	愛知県	東海道	面接	ICBEN 尺度	175
SR05	'11-'12	熊本県	九州	訪問配布・訪問回収	ICBEN 尺度	559
SR06	'13	長野県	北陸	郵送配布・郵送回収	ICBEN 尺度	294
SR07	'16	石川県・富山県	北陸	郵送配布・郵送回収	ICBEN 尺度	927

大きさが上位半数のものの算術平均値 L_{Vmax} を回動暴露量とした。

3 分析

3.1 集計結果

表3は、分析に用いたデータの性別、年齢及び住宅構造の分布を鉄道種別で整理したものである。() 数値は相対度数を示す。

性別に関しては、在来線鉄道、新幹線鉄道いずれも、男性よりも女性の回答者が多かった。年齢に関しては、在来線鉄道、新幹線鉄道いずれも60代の回答者が最も多く、続いて在来線鉄道騒音では70代以上、新幹線鉄道では50代の回答者が多かった。一方、40歳未満の回答者は、在来線鉄道、新幹線鉄道のいずれも全体の約10%程度であった。また、各年代の分布に、鉄道種別による差は見られなかった。最後に、住宅構造に関しては、戸建住宅を対象としていることから、木造住宅の

答者ごとに推計し、整数単位で整理したものを振回答者が約9割を占めていた。

3.2 騒音曝露量と振動曝露量との関係

続いて、騒音曝露量と振動曝露量の関係を鉄道種別で比較するために、 L_{Vmax} が28dB~77dBの範囲を5dB間隔で区切り、それぞれのレンジにおける L_{den} の平均値とデータ数を整理したものを表4に示す。

L_{Vmax} が43~47dBのレンジまでは、在来線鉄道と新幹線鉄道の L_{den} に顕著な差は見られない。しかし48~52dBのレンジでは、在来線鉄道の L_{den} は新幹線鉄道に比べて7dB大きく、53~57dB以上のレンジでは、在来線鉄道の L_{den} は新幹線鉄道より10dB以上大きいことがわかる。すなわち、振動暴露量が同程度であれば、在来線鉄道沿線の住民は、新幹線鉄道沿線の住民に比べて高レベルの騒音に曝露されていることとなる。逆の見方をすると、騒音曝露量が同程度であれば、新幹線鉄道沿

表3 個人属性及び住宅構造の度数分布

項目	属性	在来線鉄道	新幹線鉄道
性別	男性	835 (39%)	1670 (43%)
	女性	1256 (59%)	2151 (55%)
	無回答	24 (1%)	73 (2%)
年齢	30歳未満	72 (3%)	156 (4%)
	30代	156 (7%)	286 (7%)
	40代	303 (14%)	631 (16%)
	50代	477 (23%)	899 (23%)
	60代	567 (27%)	1060 (27%)
	70歳以上	521 (25%)	810 (21%)
	無回答	19 (1%)	52 (1%)
住宅構造	木造	1879 (89%)	3395 (87%)
	その他	220 (10%)	461 (12%)
	無回答	16 (1%)	38 (1%)

表4 L_{Vmax} のレンジ別の L_{den} 平均値

鉄道種別	L_{den}	L_{Vmax} (dB)									
		28-32	33-37	38-42	43-47	48-52	53-57	58-62	63-67	68-72	73-77
在来線鉄道	平均値 (dB)	44.7	45.5	46.7	48.3	56.1	61.3	65.2	70.1	73.1	79.4
	データ数	95	166	247	384	508	354	203	71	15	10
新幹線鉄道	平均値 (dB)	44.9	45.9	46.7	47.2	49.2	49.2	51.1	55.6	59.2	61.1
	データ数	39	234	457	975	814	583	444	245	90	11

線の住民は、在来線鉄道の住民に比べて高レベル以上の通り、鉄道種別により、住民に暴露される騒音と振動の大きさが異なる。

3. 3 構造方程式モデリングの適用

構造方程式モデリング SEM (Structural Equation Modeling) は、変数間の因果関係を同定する手法である。因果関係の強さを示すパス係数の推定では、実際のデータの分散と共分散に対して、構造方程式と測定方程式から算出した分散と共分散が最も合致するようにして決定される。この手法では、変数間の直接的な因果関係はもちろん、間接的な因果関係の効果の強さを推定できる。この手法は、騒音や振動の階層的な心理的評価構造を検討する場面でも用いられる手法である^{4,9-14)}

3. 3. 1 因果構造モデルの作成

本稿での結果や既往の知見や文献^{4,9-14)}を踏まえ、構造方程式モデリングに適用するための因果構造モデルとして図1に示すものを作成した。

因果モデルには、外生変数として、性別 Gender (男性:0, 女性:1)、住宅構造 STR (木造以外:0, 木造:1)、騒音曝露量 L_{den} 、振動曝露量 L_{Vmax} 、騒音曝露量と振動曝露量の交互作用項 $L_{den} * L_{Vmax}$ (いずれも 1 dB 単位) を導入した。なお、交互作

の振動に曝露されていることになる。

用項 $L_{den} * L_{Vmax}$ に関しては、 L_{den} と L_{Vmax} それぞれを中心化したものの積とした。また、これら5個の外生変数の共分散に関しては、 r_{34} , r_{35} 及び r_{45} を除く7個の共分散を0に設定した。

次に、外生変数の結果となる内生変数には、騒音のアノイアンス A_{dueN} と振動のアノイアンス A_{dueV} (いずれも5段階評価) を設定した。また、外生変数の A_{dueN} と A_{dueV} の関連性については、両者の因果関係を設定せず、それぞれの誤差変数 e_1 と e_2 に共分散を設定した。

3. 3. 2 多母集団同時分析の結果

分析に先立ち、低レベルあるいは高レベルの曝露量の推定精度、鉄道沿線での環境の現状を考慮して、 $35 \text{ dB} \leq L_{den} \leq 75 \text{ dB}$ および $35 \text{ dB} \leq L_{Vmax} \leq 75 \text{ dB}$ の個票データを分析に使用した。さらにモデルに組み込んだ各変数について、欠損値を含む個票データは分析の対象から除外した。その結果、在来線鉄道、新幹線鉄道のサンプルサイズは、それぞれ1824, 3621となった。

図1に示す因果構造モデルに対して、SEMの一手法である多母集団同時分析を適用して、因果関係の大きさを示すパス係数(標準偏回帰係数)を算出した(表5)。分析にはSPSSのAMOS 27を

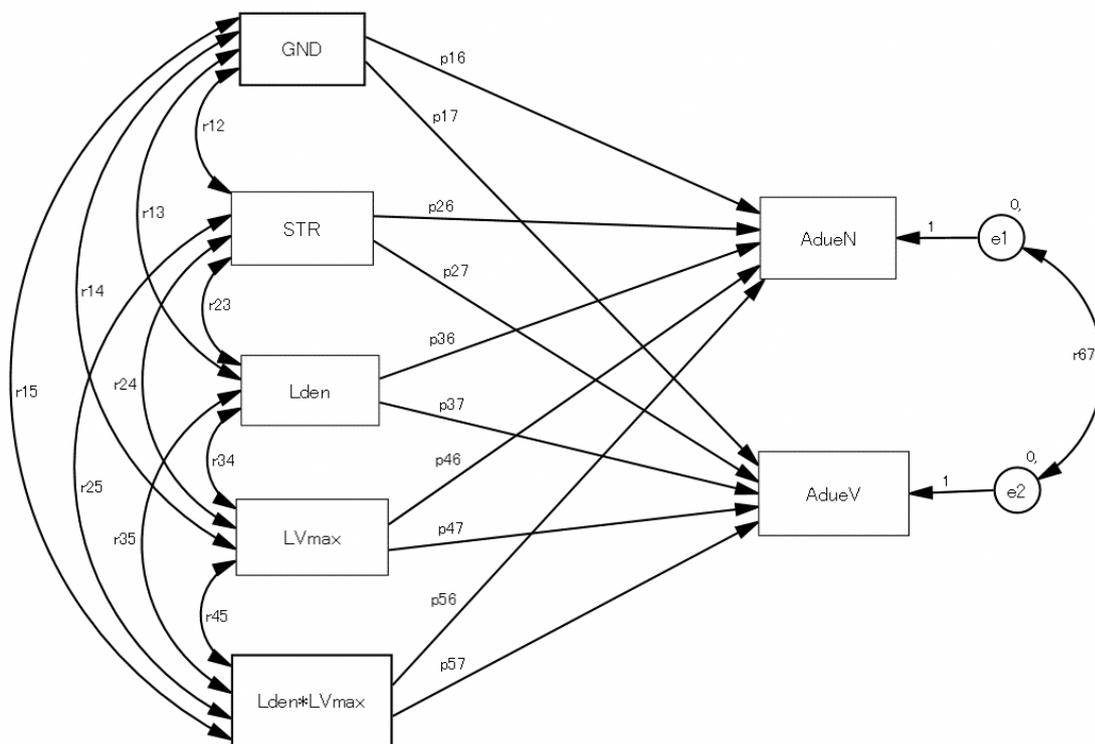


図1 因果構造モデル

用いた。分析の結果、その適合度を示す RMSEA (平均二乗誤差平方根) は 0.040 となり、良好なパス) の標準偏回帰係数は、p46 (L_{Vmax} から Aduen へのパス) より大きく、p37 (L_{den} から Aduen へのパス) の標準偏回帰係数も p47 (L_{Vmax} から Aduen へのパス) より大きくなっていった。一方、新幹線鉄道の場合には、p36 の標準偏回帰係数は p46 より大きくなっていったが、p47 の標準偏回帰係数は p37 より僅かに大きい程度であった。すなわち、新幹線鉄道と在来線鉄道とでは、アノイアンスに及ぼす騒音と振動の曝露量の効果が異なることがわかる。

交互作用項からアノイアンスへの影響では、在来線鉄道の場合には p56 ($L_{den} * L_{Vmax}$ から Aduen へのパス) は有意ではなく、p57 ($L_{den} * L_{Vmax}$ から Aduen へのパス) は 1%水準で有意、かつパス係数の正負や大きさを踏まえると、弱い相乗効果が働いていたと考えられる。新幹線鉄道の場合には、p56 は 5%水準で、p57 は 0.1%水準で、それぞれ有意であった。いずれのパス係数も負の数値であったが係数の大きさを考慮すると、振動のアノイアンスに対しては、振動曝露量が大きくなると、騒音曝露量の複合による増幅効果が小さくなるように働くことを示していると考えられる。

3. 4 考察

騒音のアノイアンスに対しては、在来線鉄道、新幹線鉄道いずれも、騒音曝露量の増幅効果が主体的で、振動曝露量の複合による増幅効果は二次的なものであると考えられる。一方、振動のアノイアンスに対しては、在来線鉄道では騒音のアノ

結果が得られたと判断した。

在来線鉄道の場合には、p36 (L_{den} から Aduen へのパス) と同様に、振動曝露量の増幅効果は二次的で、騒音曝露量の増幅効果が主体的であるが、新幹線鉄道では振動曝露量の増幅効果が主体的であり、騒音曝露量の複合による増幅効果は二次的である。そして、その効果の大きさは振動曝露量の増加とともに小さくなるものと解釈できる。

このように、在来線鉄道と新幹線鉄道では、振動のアノイアンスに対する騒音、振動それぞれの曝露量の効果が異なる。前述の通り、在来線鉄道では、騒音曝露量が新幹線鉄道に比べて大きい傾向にあるが、新幹線鉄道では振動曝露量が大きい傾向にある。そのため、在来線鉄道沿線では、住民の多くは、生活環境への影響が強い騒音を注視する傾向にあり、騒音の曝露により振動のアノイアンスが増加すると考える。一方、新幹線鉄道沿線の住民は、生活の中で顕在化している振動による生活影響に、騒音の曝露が加わる複合効果により、振動のアノイアンスが増加すると解釈できる。

4 おわりに

本稿では、騒音と振動の曝露からアノイアンスへの複合効果を把握するために、構造方程式モデリングの一手法である多母集団同時分析を適用した。その結果、騒音のアノイアンスに対しては、在来線鉄道、新幹線鉄道いずれでも、騒音曝露量の効果が主体的、振動曝露量の複合効果は二次的なものであることがわかった。一方、振動のアノイアンスに対しては、在来線鉄道では、騒音曝露量の効果が主体的、振動曝露量の複合効果は二次

表5 鉄道種別ごとのパス係数 (標準偏回帰係数)

Path	ID	CR/SRW	CR/p	SR/SRW	SR/p
GND → Aduen	p16	-0.028	0.157	-0.085	0.000
GND → AduenV	p17	-0.057	0.004	-0.057	0.000
STR → Aduen	p26	-0.003	0.881	0.030	0.056
STR → AduenV	p27	0.020	0.319	0.036	0.018
L_{den} → Aduen	p36	0.382	0.000	0.266	0.000
L_{den} → AduenV	p37	0.384	0.000	0.230	0.000
L_{Vmax} → Aduen	p46	0.194	0.000	0.121	0.000
L_{Vmax} → AduenV	p47	0.187	0.000	0.265	0.000
$L_{den} * L_{Vmax}$ → Aduen	p56	-0.025	0.247	-0.036	0.031
$L_{den} * L_{Vmax}$ → AduenV	p57	0.058	0.006	-0.112	0.000

的であったが、新幹線鉄道では振動曝露量の効果が主体的、騒音曝露量の複合効果は二次的であり、騒音と振動それぞれの曝露による生活環境への影響程度が異なることが一因である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22H01571, JP18H01518, JP18K04472 の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) World Health organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, Environmental Noise Guidelines for the European Region,(2018)
- 2) Yokoshima S., Morinaga M., Tsujimura S., Shimoyama K. Morihara T.: Representative exposure–annoyance relationships due to transportation noises in Japan, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18(20), 10935(2021)
- 3) 田村明弘: 在来線及び新幹線沿線住民の騒音に対する社会反応, 音響学会騒音研究会資料, N-89-37(1989)
- 4) 横島潤紀, 田村明弘: 新幹線鉄道の騒音と振動による複合被害感, 音響学会誌, 62(9), 645-653(2006)
- 5) Yokoshima S., Morihara T, Sato T., Yano T.: Combined Effects of High-Speed Railway Noise and Ground Vibrations on Annoyance, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(8), 845(2017)
- 6) Peris E., Woodcock J. Sica G., Sharp C., Moorhouse A. T., Waddington D. C.: Guidance for new policy developments on railway noise and vibration. *Transportation Research Part A*, 85, 76–88(2016)
- 7) Yokoshima S., Morihara T, Matsumoto Y.: Combined effect of vibrations on railway noise annoyance, *Proc ICA2019*(2019)
- 8) Yokoshima S., Morihara T, Matsumoto Y.: Effects of the railway category and noise on vibration annoyance, *Proc ICBEN2021*(2021)
- 9) 森原崇, 佐藤哲身, 矢野隆: 構造方程式モデルによる鉄道騒音と道路交通騒音に対する社会反応構造の比較, 日本建築学会環境系論文集, 585, 1-6(2004)
- 10) 横島潤紀, 太田篤史, 田村明弘: 複合騒音の評価構造に関する共分散構造分析の適用, 日本

その効果は振動曝露量の増加とともに弱くなることがわかった。このように鉄道種別による差は、音響学会秋季研究発表会講演論文集, 671–672(2006)

- 11) 横島潤紀, 太田篤史, 田村明弘: 複合騒音の評価構造に関する共分散構造分析の適用 (その2) 戸建住宅と集合住宅との比較, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 879–882(2007)
- 12) 佐藤哲身, 矢野隆: 札幌丘珠空港周辺の飛行機騒音とヘリコプタ騒音に対する社会反応, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, 19-22(2010)
- 13) Nguyen T. L., Morihara T., Yano T., Yokoshima S.: Structural equation models of road traffic and aircraft noise annoyance in Vietnam, *Noise Control Engr. J.*, 66(6), 459–471(2018)
- 14) 横島潤紀, 森長誠, 矢野隆: 環境騒音に対する苦情行動の因果分析—構造方程式モデリングの適用—, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 503–506(2018)