

車内音に対する印象評価の分析

安部 由布子* 鈴木 綾子*

Analysis of a Subjective Evaluation Test by Semantic Differential Method on Impression of Noise Inside Railway Vehicles

Yufuko ABE Ayako SUZUKI

The impression of some sound on human beings depends not only on its magnitude but also on its “sound quality”. In order to clarify some factors that influence the impression of noise inside railway vehicles, we have conducted an auditory experiment using Semantic Differential Method. By factor analysis, we extracted four factors of the feeling of noise: “Softness”, “Pleasantness”, “Clearness”, and “Profoundness”, and that “Pleasantness” is strongly influenced by “Softness”.

キーワード：車内音，快適性，不快感，主観評価

1. はじめに

音に対する人間の不快感の度合いは第一にはその音の大きさ（耳に入るエネルギー量）に依存しているため、一般的な騒音の対策方法ではまず騒音レベルの低減をすることが求められてきた。しかし、人間が音を聞いたときに感じる印象は音の大きさ感だけではなく、高さや音色といった音質の違いによって異なる。このことから、同じ大きさの音でも音質（周波数特性）が異なれば人間が感じる不快感の度合いには差があると示唆される。したがって、音に対して人間が感じる不快感を低減するためには、音の大きさを低減するだけではなく、人間がどのような印象で音を捉えているか主観的な反応について調べ、不快な印象を与えない音質に変えることも重要である。

鉄道車両の客室内で聞こえる様々な車内音に対して感じる不快感の度合いについて主観評価実験を行った結果、同じ騒音レベルの音であっても、その音質が異なると不快感の度合いが異なることが確かめられた¹⁾。しかしこれは不快感やうるささの度合いについて5段階の評定尺度法により評価させたものであったため、乗客が車内音からどのような印象を受けているか、車内音に対する不快感がどのような印象と関連が深いか、という点までは確認することができなかった。

このような心理的な印象構造を把握するための官能検査手法としてSD法（Semantic Differential Method）があり、音についてもこの手法がよく用いられる^{2), 3)}。鉄道車両の車内音についても、聞こえの印象構造につい

て把握するためSD法により評価する聴感実験を行い分析した。

2. 実験の目的

鉄道車両の車内は公共空間であり、乗客の耳にはさまざまな音が聞こえてくる。したがって、車内音と一口でいっても「鉄道車両という乗り物」から発せられる機械的な音のほか、広い意味では同時に乗車している人間により発せられる人為的な音、たとえば他者の会話や案内のアナウンスなども含まれる。乗客が車内の音環境全体に対して不快に感じる音としては、後者も大きな割合を占めており、実際に2009年度の主観評価実験¹⁾においても、走行音に会話音を重畳した音については、走行音よりも不快と感じる度合いが高いとの結果が得られた。しかしこのような人為的な音については単純な改善策の提案が難しく、また評価者と音源となる人との関係によって受ける印象に個人差が大きいと、今回の印象評価実験では評価対象から除外することにした。本実験では対象を「鉄道車両が機械的に発する音」に限定し、その印象構造を明らかにすることとした。また、音質が異なるとどのように印象が変化するかについて知見を得ることを目的とし、各車内音に対して周波数特性の調整を行った音や純音を合成した音も実験の評価対象音に含めた。

3. 印象評価実験の概要

3.1 評価対象音の作成

車内音は、複数の車両および走行区間で収録した。収

* 人間科学研究部 人間工学研究室

特集：人間科学

録した車内音からそれぞれ 15 秒程度を切り出して wav 形式ファイルを作成し、評価対象音の原音とした(表 1)。No.1 から No.5 は、2009 年の実験においても評価対象として使用した音である。2009 年の実験の際に得られたそれぞれの音に対する不快度評価の結果では、No.1 から No.3 までの走行音では不快度にあまり差はみられなかったが、No.4 と No.5 は他の音に比べて不快度が高かった。No.6 から No.10 は本実験で新たに追加した音で、大きさ(騒音レベル)の時間的な変化がそれほど大きくなく、かつ実験者の聴感により確認し、音質的な印象も比較的安定していると考えられるように切り出した。以後、この 10 種類の音を「原音」と呼ぶ。

表 1 評価対象音(原音)

No	音の内容
1	A 形式車両 明かり区間走行音
2	A 形式車両 トンネル区間走行音
3	B 形式車両 明かり区間走行音
4	A 形式で収録されたカタカタ音(異音)
5	A 形式停車時機器音(連続換気装置の音)
6	C 形式車両 明かり区間走行音
7	C 形式車両 トンネル区間走行音
8	D 形式車両 明かり区間走行音
9	A 形式車両 明かり区間走行音 2 *
10	A 形式車両 トンネル区間走行音 2 *

* No.9,10 は、No.1,2 とは走行条件や収録状況が異なる

また、周波数特性やピーク成分の有無といった音質の変化に対する主観的印象の変化を確認することを目的とし、原音に対し表 2 に示す 5 種類の音質調整を行った音も作成し評価対象音に加えた。

表 2 音質調整条件

条件	内容	概略図
①	高域強調 +5dB/oct.	図 1-①
②	低域強調 -5dB/oct.	図 1-②
③	90-110Hz 帯 10dB 減	図 1-③
④	200Hz 純音追加	—
⑤	1kHz 純音追加	—

調整①から③は音響処理ソフトウェア(Adobe Audition 3)の FFT フィルタ機能を用いた。フィルタの概略図を図 1 に示す。①②は高周波成分と低周波成分の割合が変わることによる印象の差を調べることを目的とした周波数フィルタである。③は原音の No.5 で特に顕著にみられた 100Hz 付近の卓越した周波数成分について、これを低減した場合の印象変化の確認を目的とした帯域低減フィルタである。④および⑤は、各原音に純音(正弦波)を追加したもので、音に純音的なピーク成分が存

在する場合としない場合での印象の差を検討することを目的としたものである。以上により、印象評価実験の評価対象音は原音 10 種類とそれを音質調整した音 50 種類の全 60 種類とした。

また、本実験の主な目的は大きさ以外の音質の違いによる印象の差異を調べることであるため、音響処理ソフトウェアのレベル調整機能を用いて wav ファイル上で評価対象音のレベルを揃えた。

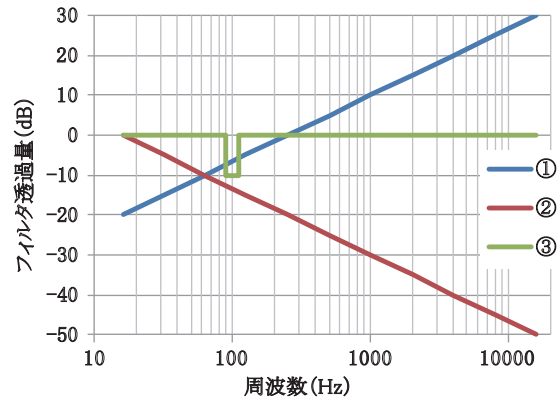


図 1 音質調整に用いた FFT フィルタ概略

3.2 印象評価実験の手続き

被験者は 1 回の実験において 2 名ずつとし、車内快適性シミュレータ⁴⁾ 模擬客室内の音環境提示用スピーカからランダムな順序で再生される全 60 種類の試験音に対して SD 法による印象評価を実施した。用いた評価言語対は各種騒音に対する先行研究^{2), 5), 6)}を参考に、一般的な音の印象評価に用いられている形容詞に加え、気になる一気にならない等の主観的な評価言語対も入れた 23 個の言語対とし、評価尺度は 7 段階とした。また、被験者属性は 20 歳代から 50 歳代までの鉄道関係者計 24 名(うち女性 6 名、平均年齢 39 歳)である。

被験者には、評価音は鉄道の車内音であり、音を再生するごとに評価シートにより印象を評価するように教示した。なお、順序効果を相殺するため 60 種類の音の再生順序は 5 パターン作成した。

実験風景を図 2 に示す。車内快適性シミュレータの模擬客室内には特急タイプの 2 人掛座席が 6 脚設置されているため最大で同時に 12 名の実験が可能であるが、スピーカからの距離や他の座席等との位置関係により音の印象が異なることを避け、被験者 2 名は模擬客室のほぼ中央と考えられる 2 列めの通路を挟んだ左右座席に 1 名ずつ着席させた。

車内快適性シミュレータ内には音環境提示のため中高域用フルレンジスピーカ(Fostex FE107E) 4 つが客室内左右前後の窓下筐体内に、低域用ウーハ(Bose SBC-1) 2 つが後部左右に設置されている。実験ではこの 6 つのスピーカから評価対象音を同時に再生した。なお、実



図2 評価実験実施状況

験時の再生音量は被験者の耳付近で平均 64dB(A) (標準偏差 1.7dB) であった。

4. 印象評価の結果と分析

4.1 車内音に対する印象評価プロフィール

原音について得られた SD 法による印象評価回答平均値のプロフィールを図3に示す。なお、図3は後述する4.2項の因子分析結果をふまえて項目の順序および評価言語対の左右を並べ替えている。

図3左および図3中に示したプロフィールより、各形式車両の走行音については車種や走行条件により「金属

性の一深みのある」「甲高いー落ち着いた」「割れたー溶け合った」の印象にややばらつく傾向が見られ、これらが走行音の印象を決定づけていることが示唆される。図3左からA形式走行音について、No.1の明かり区間においては「濁った」「つやのない」「暗い」との印象が他よりもやや強く「迫力がある」と評されている。しかしNo.9ではこのような傾向はなく、収録場所や走行条件によって同じ車種でも異なる印象を与える音が発生していることがうかがえる。

2009年の実験では、停車時機器音 (No.4) とカタカタ音 (No.5) に関しては他の走行音に比べて不快感が高いとの結果が得られていた。今回得られたプロフィールでも、カタカタ音は他の車内音と比較して「騒々しい」「気になる」「耳ざわりの悪い」「割れた」といった印象が強くなり、「不快」であると評価されていることが確認された。しかし停車時機器音に関しては、走行音と比べてやや「濁った」「深みのある」音であると評価されているものの、「不快なー快い」を含め他の印象に顕著な差はなかった。

4.2 主観評価の因子分析

鉄道の車内音に対する印象を構成している主要な因子を抽出するため、得られた SD 法による印象評価回答結果について因子分析 (最尤推定法、プロマックス回転) を行った。因子数についてスクリープロットおよびカイザー・ガットマン基準、因子の解釈可能性を総合的に考

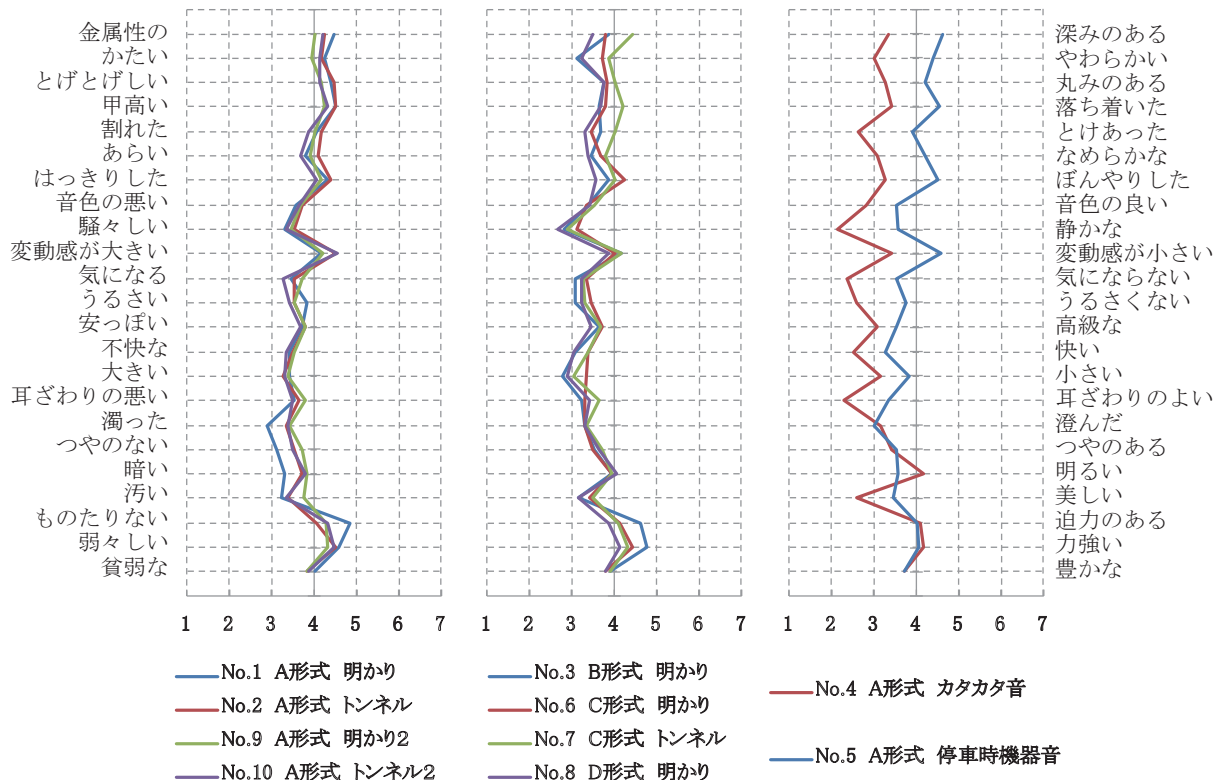


図3 原音のSD法印象評価プロフィール

表3 車内音に対する印象評価の因子分析結果（最尤法、プロマックス回転）

評価言語対		因子1	因子2	因子3	因子4	共通性
柔らかさ	金属性の－深みのある	0.80	-0.01	-0.31	0.24	0.72
	かたい－やわらかい	0.79	-0.10	-0.11	-0.18	0.48
	とげとげしい－丸みのある	0.75	-0.13	0.07	0.04	0.47
	甲高い－落ち着いた	0.69	0.16	-0.29	0.18	0.70
	割れた－とけあった	0.66	0.00	0.26	0.08	0.61
	あら－なめらかな	0.64	-0.15	0.34	-0.05	0.49
	はっきりした－ぼんやりした	0.60	0.14	-0.46	-0.14	0.51
	音色の悪い－音色の良い	0.52	0.03	0.43	-0.04	0.61
	騒々しい－静かな	0.38	0.38	0.03	-0.26	0.56
変動感が大きい－変動感が小さい	0.28	0.01	0.12	-0.20	0.14	
好ましさ	気になる－気にならない	-0.14	1.01	-0.08	0.01	0.80
	うるさい－うるさくない	-0.17	0.99	-0.04	-0.05	0.76
	安っぽい－高級な	0.01	0.59	0.09	0.22	0.45
	不快な－快い	0.32	0.50	0.17	-0.03	0.70
	大きい－小さい	0.11	0.45	0.05	-0.27	0.38
	耳ざわりの悪い－耳ざわりのよい	0.38	0.42	0.11	0.03	0.62
清澄さ	濁った－澄んだ	0.02	0.00	0.74	-0.06	0.57
	つやのない－つやのある	-0.09	0.08	0.68	0.10	0.46
	暗い－明るい	-0.32	-0.09	0.65	-0.09	0.46
	汚い－美しい	0.33	0.10	0.63	0.03	0.71
重厚さ	ものたりない－迫力のある	-0.01	-0.05	-0.02	0.85	0.72
	弱々しい－力強い	-0.04	-0.04	0.00	0.83	0.69
	貧弱な－豊かな	0.05	0.20	0.34	0.43	0.38
固有値		8.05	2.99	2.30	1.39	
相関	因子1	1				
	因子2	0.73	1			
	因子3	0.27	0.33	1		
	因子4	0.13	-0.08	-0.10	1	

慮した結果、表3に示す4因子を抽出した。

なお、表3は各評価項目（評価言語対）の右側に記載された言葉が主観評価得点も高く、一般的にポジティブな印象と思われるものになるように並べ替えて得られたものである。信頼性を表わす α 係数は4因子すべてについて0.7を超えていることを確認した。また、原音のみの評価に限定して因子分析を行った場合にも同様の4因子が抽出された。以上により鉄道の車内音に対する主観的印象はこの4因子で代表できると考えた。

各因子を構成する項目の内容から、第1因子は「金属性の－深みのある」「かたい－やわらかい」「とげとげしい－丸みのある」「甲高い－落ち着いた」など“柔らかさ”をあらわす因子であると解釈される。第2因子は「気になる－気にならない」「うるさい－うるさくない」「不快な－快い」といった主観的な“耳あたりの良さ”や“好ましさ”をあらわす因子であると考えられる。第3因子は「濁った－澄んだ」「つやのない－つやのある」「暗い－明るい」「汚い－美しい」が分類され“清澄さ”，第4因子は「ものたりない－迫力のある」「弱々しい－力強い」「貧弱な－豊かな」といった“重厚さ”をあらわす因子であると解釈した。

なお、先行研究において、機械騒音やその他一般の音に関してこのような印象評価分析を行うと多くの場合

「金属性因子」「美的因子」「迫力因子」の3因子が抽出されるとの知見が示されている²⁾。表3の結果をこれに対応づけると“柔らかさ”をあらわす第1因子が「金属性因子」「清澄さ”をあらわす第3因子が「美的因子」「重厚さ”をあらわす第4因子が「迫力因子」にそれぞれ対応すると考えられる。

各因子間の相関関係（表3）から、第1因子と第2因子との相関は0.73と強い正の相関があり、音の“柔らかさ”の印象が増すと“好ましい”音であると評価される方向にあると考えられる。第3因子は第2因子と弱い正の相関があるが、第4因子はどの因子ともほとんど相関がみられない。

各因子について評価対象音ごとに因子平均点を計算し、第2因子“好ましさ”との相関を図4に示す。図4(a)から“柔らかさ”が増すと、より“好ましい”と評価される傾向がみられる。第3因子および第4因子は第2因子とほとんど相関がみられず“清澄さ”や“重厚さ”という印象の変化と“好ましさ”の印象の変化には関連性がないことが示唆される。

4.3 音質の変化による印象の変化の検討

本実験では、音質が異なるとどのように印象が変化するかについて知見を得ることを目的として、3.1節の表

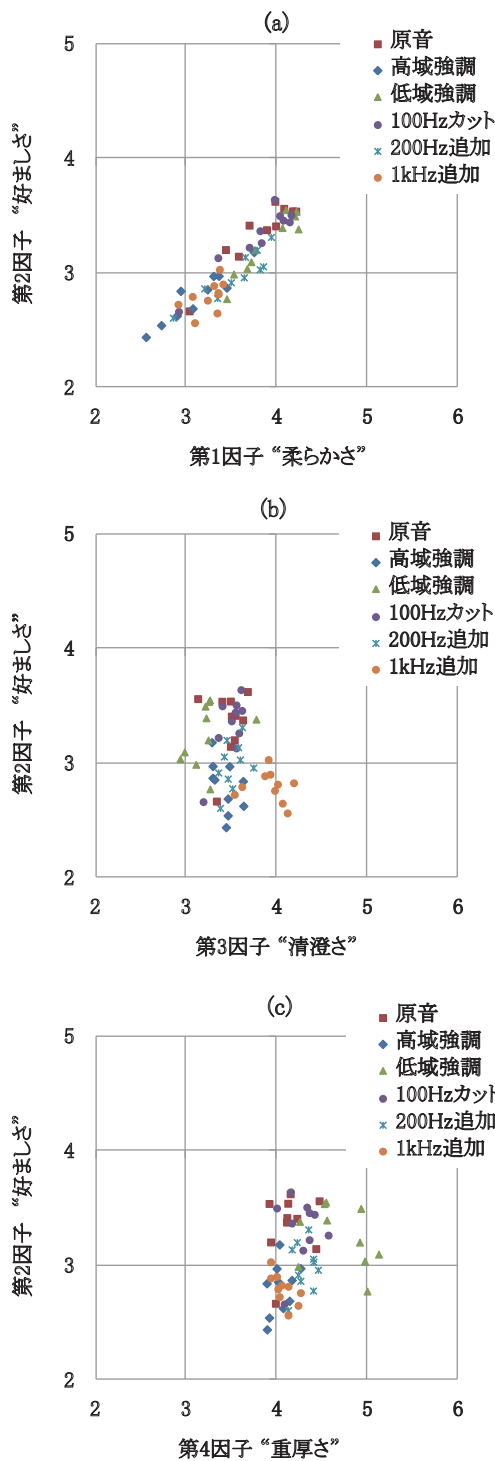


図4 各因子平均点の相関

2で示したように音質を変えた調整音を50種類作成し評価対象音に加えた。図4にはこれらの調整音に対する主観評価因子の平均点もあわせてプロットした。

これらの主観評価結果から、表2で示した5つの音質調整条件に原音を加えた6つの音質条件と、因子分析により抽出された4因子について、印象の差が生じるかどうかを検討することを目的として、二元配置分散分析を行った。本データは被験者内分散分析を適用する前提条

件（球面性の仮定）を満たさなかったため、自由度をイプシロン修正した分散分析を行った。この結果、交互作用が認められた場合について、単純主効果の検定を行い、いくつかの原音と調整音の間にのみ有意な差が認められた ($p < 0.05$)。“好ましき”因子に有意に差があったのは調整①（高域強調）あるいは調整⑤の場合で、いずれも原音のほうが“好ましい”と評価されていた。また、これらの調整では“柔らかさ”も原音のほうが評価点が高かった。したがって、高域を強調する、あるいは高い周波数（1kHz）の純音があると“好ましくない”傾向にあると考えることができる。

調整②（低域強調）ではいずれも“柔らかさ”や“好ましき”には有意な差はなかったが低域強調のほうが“重厚さ”が増す傾向がみられた。調整②で用いたFFTフィルタは16Hzから16kHzまでの周波数にわたり同じ傾きとしたため、高周波成分の割合が減少する反面で低周波成分が増加し“重厚”という印象が強くなったものと考えられる。

なお、調整③（90～110Hz帯域を10dBカット）については、すべての音質調整内容および因子に関して、有意な差はなかった。

以上により高周波成分が少ないかあるいは高い周波数に目立った周波数ピークをもたない音が柔らかくかつ好ましい印象を与えていると考えられる。しかし高周波成分を単純に減らしたとしても、低周波成分が強調されると好ましきの増加にはつながらないことも示唆された。

4.4 印象因子と物理指標との関係

各印象因子と相関の高い物理指標を対応付けることにより音に対する主観的印象を機械的に計測できる物理量で評価することが可能となる。また、4.2項および4.3項に示したように、音に対する好ましきは、その音の印象の柔らかさと強い正の相関を示しており、さらに音の柔らかさの印象は高周波成分の割合との関連性が示唆された。

人間の主観量と物理量とを関係づける目的で現在いくつかの音質指標が提案されているが、音の「甲高さ」を表す指標にシャープネス (acum) がある。シャープネスは「甲高さ」や「かたさ」など金属性因子に属する主観量を表すために von Bismarck により提案された指標であり、全周波数成分に占める高周波成分の割合として算出され、高周波成分を多く含む音で大きく、高周波成分が少ない音では小さい値をとる^{2), 7), 8)}。

原音について、シャープネスと“柔らかさ”および“好ましき”因子の平均点との相関を図5に示す。シャープネスは、無人の車内快適性シミュレート模擬客室の通路中央、床面上高さ1.2m位置に騒音計マイクロホンを設置して評価対象音を収録し、音質分析ソフトウェア

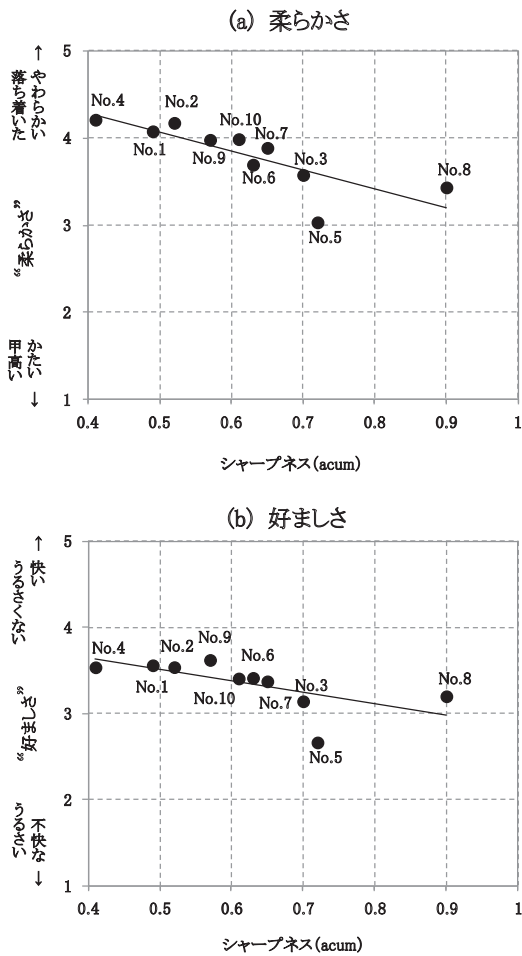


図5 シャープネスと因子得点

(Oscope Ver. 2.4) により算出した。図5から“柔らかさ”とシャープネスにはかなり強い負の相関がみられ ($r=-0.80$)，“好ましさ”とシャープネスもやや強い負の相関がみられる ($r=-0.64$)。以上から、鉄道の車内音についての主観評価量のうち“柔らかさ”や“好ましさ”に関するものについて、シャープネスにより検討することが有効であると考えられる。

5. まとめ

鉄道の車内音10種類と音質調整した50種類の音について、質による印象の違いを確認することを目的として、再生レベルを揃えて提示しSD法により印象評価を行った結果について分析し、次のことが確認された。

- (1) 因子分析（最尤法，プロマックス回転）を実施した結果，車内音の印象は“柔らかさ”，“好ましさ”，“清澄さ”，“重厚さ”の4因子で表すことができることを示した。また，“好ましさ”と“柔らかさ”には強い正の相関がみられた。
- (2) 音の周波数成分のうち高周波成分の割合を増やすと“柔らかさ”や“好ましさ”の印象が減少する傾向がみられた。しかし，高周波成分を減らしたとしても低周波成分の割合が増加する場合は“重厚さ”の印象は強くなるが“柔らかさ”や“好ましさ”には有意な変化はなかった。
- (3) 物理指標により“好ましさ”を検討する場合も“柔らかさ”と相関の高いシャープネスが有効であることが示された。

以上から，今後乗客にとって質的により好ましい車内音環境を検討していく際には，シャープネスを小さくすることによって柔らかく耳あたりの良い音に変えることが有効であると考えられる。ただし，今回の印象評価実験は評価対象音のレベルを揃えて実施したものであるため，大きさ感について制限した条件下で得られた結果であることに留意する必要がある。

文献

- 1) 安部由布子，水上直樹：人間の不快感と相関の高い車内騒音の評価手法，鉄道総研報告，Vol.24, No.11, pp.41-46, 2010
- 2) 難波精一郎，桑野園子共著：音の評価のための心理学的測定法，コロナ社，1998
- 3) 岩宮眞一郎編著，音色の感性学，コロナ社，2010
- 4) 白戸宏明，中川千鶴，鈴木浩明：車内快適性シミュレータの開発と活用法，鉄道総研報告，Vol.18, No.2, pp.5-8, 2004
- 5) 羽藤律，奥野雄助，加来治郎，桑野園子，難波精一郎：音響透過損失の周波数特性が鉄道騒音の音色に及ぼす影響，日本音響学会講演論文集，1-3-12, 2004.3
- 6) 自動車音源 DVD2008 収録資料，社団法人自動車技術会
- 7) Hugo Fastl, Eberhard Zwicker: Psychoacoustics (3rd Edition), Springer, pp.239-246, 2007.
- 8) 榎小野測器 Oscope Ver. 2.4 マニュアル OS-0271 ユーザーズガイド