

高騒音下における車内放送音声の最適音量の検討

間嶋 匠[†] 東海林 彩[†] 金田 豊[†] 山本 聡[‡] 今村 勇人[‡]

[†] 東京電機大学大学院工学研究科 〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5 番

[‡] 八幡電気産業株式会社 〒108-0074 東京都港区高輪 3 丁目 25 番 23 号

E-mail: [†] {11kmc35@ms, 09ec075@ms, kaneda@c}.dendai.ac.jp, [‡] {yamamoto_sa, imamura}@yawatadenki.co.jp

あらまし 大きな騒音が発生している走行中の列車内放送は、音量が小さすぎると「聴き取れない」という問題が発生し、大きすぎると「耳障り」という問題が発生するため、適切な音量に制御する必要がある。本稿では、この適切な放送音量(最適音量)について検討した。騒音は実録のもの 3 種類、放送音声については実際の放送音源(女声 4 文章)を用いて、それぞれの実験条件での音量の適切性および了解度と耳障り感について主観評価を行った。その結果、1) 放送音量が上昇すると了解度も上昇し、更に音量を上げると耳障り感が発生するが、これらの間が最適音量となり、これには幅がある、2) 騒音が 10 dB 上昇すると、最適音量は 4 dB 上昇するが、この最適音量の上昇は放送音声の了解性に起因すると考えられる、3) 了解度と耳障り感が競合した場合は、了解度が優位である、ことなどがわかった。

キーワード 車内放送, 最適音量, 列車, 了解度, 耳障り感

A Study on Optimum Sound Level of Broadcasting in a Noisy Train

Takumi MAJIMA[†] Aya SHOJI[†] Yutaka KANEDA[†]

Satoshi YAMAMOTO[‡] and Hayato IMAMURA[‡]

[†] Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University, 5 Senju-Asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8551, Japan

[‡] Yawata Electricity Industry, 3-25-23 Takanawa, Minato-ku, Tokyo 108-0074, Japan

E-mail: [†] {11kmc35@ms, 09ec075@ms, kaneda@c}.dendai.ac.jp, [‡] {yamamoto_sa, imamura}@yawatadenki.co.jp

Abstract Broadcasting in a noisy train has two problems. When the broadcasting sound level is too low, the broadcast is inaudible. On the other hand, when the sound level is too high, it is noisy. We thus have to adjust the broadcast to the optimum sound level. Here, we study the optimum sound level of broadcasting. Subjective experiments to evaluate the intelligibility and annoyance of broadcasts (female voice, four words) were conducted under several conditions with three types of recorded noise. We found that 1) increasing the broadcasting sound level increases intelligibility, and further increasing it increases annoyance; the optimum sound level is located between levels corresponding to full intelligibility and some annoyance, 2) when the noise level becomes 10 dB higher, the optimum sound level becomes 4 dB higher, and this relationship is dominated by intelligibility score, 3) Intelligibility has a greater effect on the optimum sound level than annoyance.

Keyword Broadcasting, Optimum sound level, Train, Intelligibility, Annoyance

1. はじめに

列車内には様々な情報提供をするための車内放送が行われている。近年では、プロのアナウンサーが予め録音したアナウンス音声を自動的に放送するシステムが数多く導入されており、明瞭性の高い放送を実現している。しかし、トンネル走行中や地下走行などにおいて、走行中の車内で大きな騒音が発生した場合の放送音量の制御指針が未だ定まっていない。その結果、音量が小さすぎて放送内容が「聴き取れない」ことや、逆に大きすぎて「耳障り」となることが問題となっており、適切な音量制御指針の設定が望まれている。

空港や駅などの公共空間や騒音下における放送音声の最適音量の検討はこれまでもなされてきた[1][2][3][4]。しかし、低周波成分が大きいという特徴を持ち、また、大音量な車内騒音を対象とした制御方法の検討は十分なされていない。これまで我々は、放送音量制御の下限となる最低可聴音量制御指標について検討を行い、2~4 kHz 付近の SN 比が良好な指標となることを示した[5]。しかし、聞き取ることができる最低音量が必ずしも適切な放送音量であるとは限らない。最低可聴音量で聞き取るためには「努力」が必要であり、最適音量としてはもう少し音量が大きく、「努力」なく聞き取れる音量が望まれることが考えられる。一

方、必要以上に音量を上昇させると、先に述べたように「耳障り感」が発生し、不適切な音量となる。このように、最も適切な音量は、Fig. 1 に示すように、最低可聴音量よりは大きく、耳障り発生音量よりは小さい音量であると考えられ、場合によっては、ある程度の幅を持ったものであると考えられる。

そこで、本稿では主観評価実験によって各種走行騒音下での放送音量の適切性を評価すると共に、音声の了解性、および耳障り感(アノイアンス)を同時に評価して、それらの関連を明らかにすることを目的とした。

2. 放送音量評価実験

複数の実録車内騒音と放送音声(実用されている女声アナウンス音声)を用いて放送音量の評価実験を行った。

2.1. 実験環境

実験は、容積が 67 m³、残響時間が 0.6 s の室内において、Fig. 2 に示す環境で行った。走行騒音は 2 個のフルレンジスピーカと 1 個の低域用スピーカ(ウーハー)によって再生した。フルレンジスピーカは被験者が拡散音を多く聞くようにするため、被験者には背面を向けて設置した。放送音声は、被験者の前方 1 m に設置したフルレンジスピーカから再生した。被験者は評価用の PC を操作するために前かがみになるので、頭部の斜め上から音声を聞くことになる。

2.2. 走行騒音

一般に、地下走行騒音の特徴として、低域に強いパワーを持つことが挙げられるが、カーブやブレーキ中の走行、車体、トンネル構造等によって 1 kHz 以上の周波数成分にパワー差が現れる。本実験では地下走行車内で実録した騒音の中から代表的なスペクトルを持つ 3 種類を選出して使用した。そのパワースペクトルを Fig. 3 に示す。騒音 A,B,C の順で、1kHz 以上においてより強いパワーを持っている。

実際の地下走行中の列車内では、約 60~90 dBA の走行騒音が発生している。そこで今回は、被験者耳元で、60,70,80,90 dBA となるように騒音レベルを 4 段階に変化させた。

2.3. 放送音声

使用した放送音声は女声アナウンスによる約 2 秒程度の 4 文章(Table 1)を用いた。この文章は、長時間のアナウンス音声の中から、これまでの我々の調査で耳障りになりやすい音韻特徴を持った文章部分(A)(D)と無作為に選出した文章部分(B)(C)を切り出したものである。

2.4. 評価方法

各種・各レベルで走行騒音を再生し、そこに約 2 秒の放送音声を正面のスピーカより再生し、提示音声に

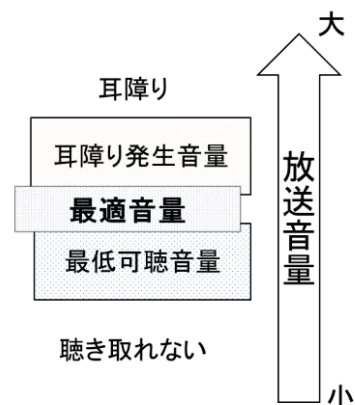


Fig. 1. 最適音量の位置づけ

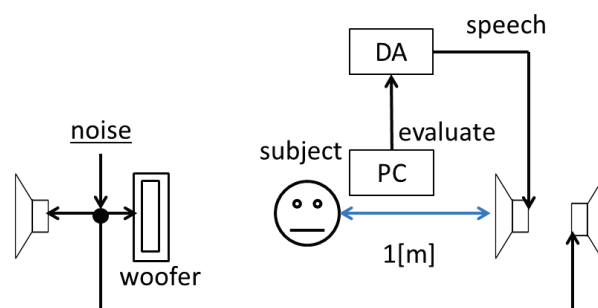


Fig. 2. 実験環境

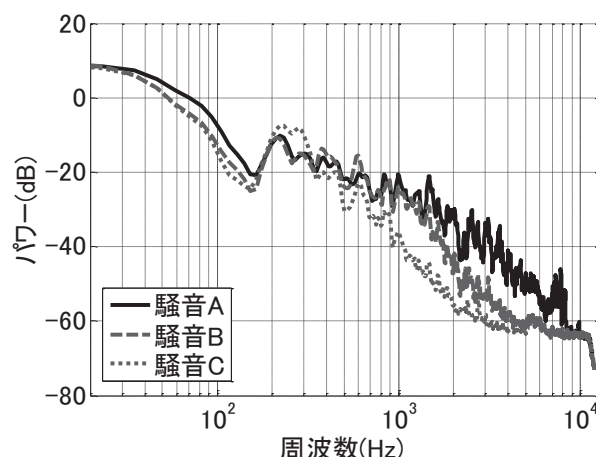


Fig. 3. 使用した走行騒音のパワースペクトル (耳元で測定したもの)

Table 1. 実験に使用したアナウンス文章

(A)急行電車の停車駅は
(B)大岡山
(C)右側です
(D)終点、尻手(して)です

Table 2. 実験に用いた評価項目

了解度(聞き取れるか)				
5 聞き取れる	4 やや聞き取れる	3 やや聞き取れない	2 ほとんど聞き取れない	1 聞き取れない
耳障り感(アノイアンス)				
5 とても耳障り	4 耳障り	3 やや耳障り	2 3と1の間	1 耳障りでない
適切性(放送音量として適切か)				
5 適切である	4 やや適切である	3 どちらでもない	2 やや適切でない	1 適切でない

Table 3. 実験条件

使用音声	女声アナウンス4文章 (約2秒)
音声レベル	53~80 dBA (被験者耳元) 3 dBA刻み 計10種
使用騒音	実録車内騒音3種
騒音レベル	60,70,80,90 dBA(被験者耳元)
被験者	5名(22~24歳 男女)

ついて了解度・耳障り感・適切性について5段階で、評価を行った。Table 2 に実際に被験者に提示した評価項目を示す。放送音声の音量は、53 dBA から 3 dBA 刻みで 80 dBA まで 10 種類に変化させ、種類・音量共にランダムに提示した。評価が難しい場合には、被験者の意思で複数回音声を取ることができるようにした。被験者は健全な聴覚を持った成人男女 5 名とした。以上の実験条件をまとめて、Table 3 に示す。

3. 実験結果

3.1. 放送音量と適切性の関係

—代表的結果と文章による違い—

Fig. 4(a)(b)は放送音量の適切性に関する評価結果を示したものである。図は、3種の騒音、4種の騒音レベルに対する実験結果のうち代表的な2つを選んで表示した。Fig. 4(a)は騒音Aが70 dBAの場合の結果、Fig. 4(b)は騒音Bが80 dBAの場合の結果である。図の横軸は放送音声の音量を表し、縦軸は各音量の音声に対する適切性評価値を表す。結果は使用した4つのアナウンス文章別に表示した。各評価値は被験者5名の平均値である。これらの図より次のことがわかる。

- 1) 放送音量が小さいと音声は聞こえづらいため、適切性の評価値は小さい。放送音量の上昇とともに適切性は上昇する。しかし、適切性が最大値となる放送音量を超えると、適切性は減少していく。これは音量が大きすぎて音声が耳障りになったためと考えられる。
- 2) 文章の違いによる実験結果の差は小さい。すなわち、

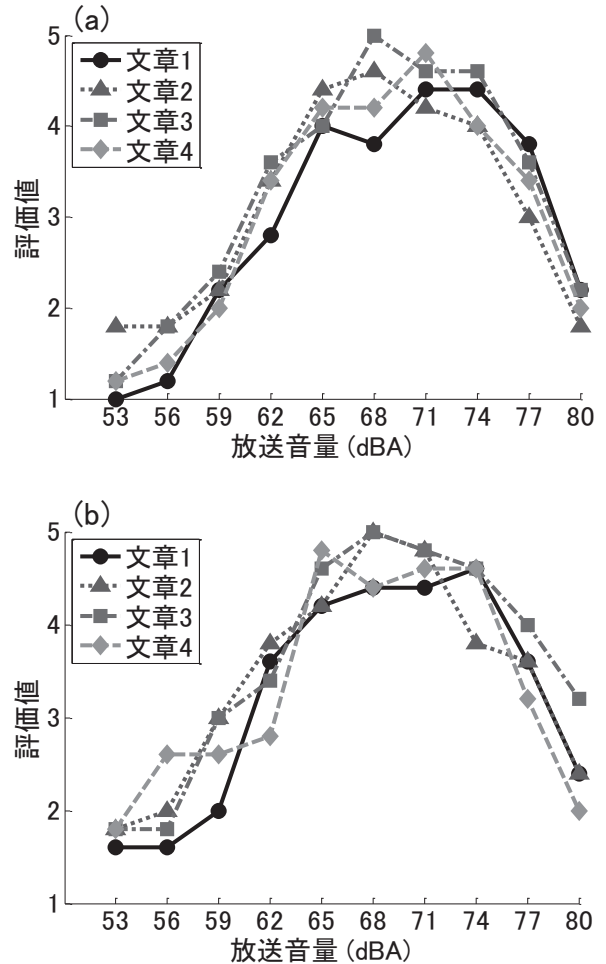


Fig. 4. 放送音量と適切性の関係
(a)騒音 A, 70dBA 設定時 (b)騒音 B, 80dBA 設定時

Fig. 4(a)(b)における4本の曲線の上昇、下降の傾向や最大値をとる音量などは類似の傾向を持っている。そこで以降は被験者5名と4つの文章の評価値を平均したものを評価値として表す。

3.2. 騒音の種類・レベルと適切性

Fig. 5(a)~(d)は騒音の種類・レベルの違いによる適切性評価の違いを示したもので、(a)は騒音レベルが60 dBA、(b)は70 dBA、(c)は80 dBA、(d)は90 dBAの場合の適切性の評価結果を示したものである。図より次のことがわかる。

- 1) グラフはゆるやかなピークを持つものが多い。すなわち、適切な音量は5~10 dB程度の幅を持っている。
- 2) 騒音A,B,Cは、この順に約5 dBずつ右にずれたグラフとなっている。すなわち、同じ騒音レベル(dBA)であっても、騒音の種類によって最適な放送音量(dBA)が異なっている。このことは、列車内放送音量の制御を行う際、A特性サウンドレベル(dBA)で音量を評価することが不適切であることを意味している。

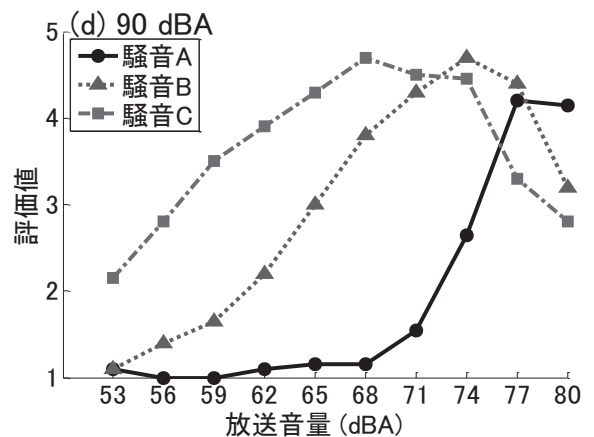
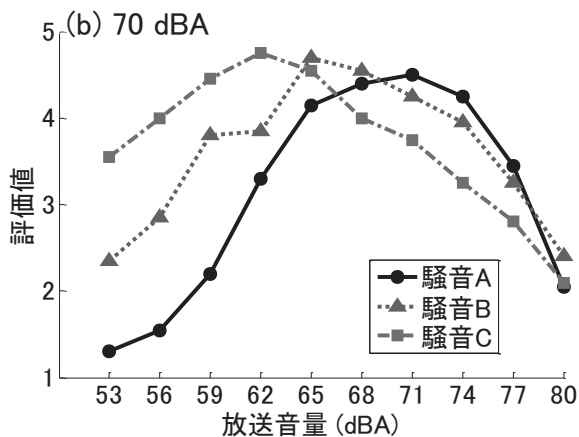
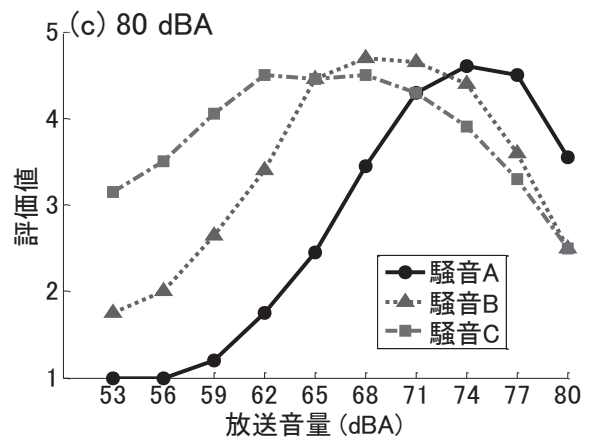
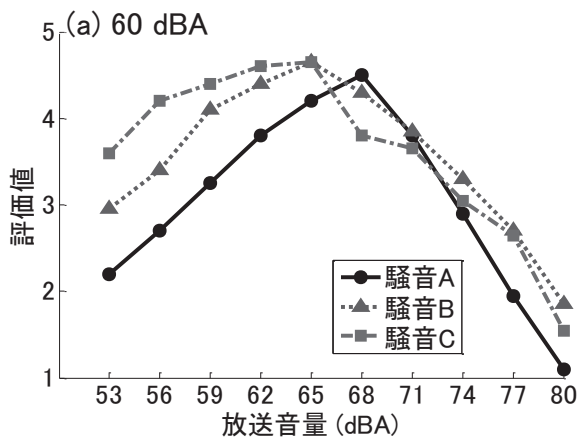


Fig. 5. 騒音の種類とレベルの違いによる適切性評価の違い
(騒音レベル(a)60 (b)70 (c)80 (d)90 dBA 設定時)

次に、各騒音・各レベルに対して、適切性が最大となる放送音量(以下これを最適音量と呼ぶ)を求め、それをグラフ化したものを Fig. 6 に示す。図より、騒音が 10 dB 上昇すると、最適音量は約 4 dB 上昇することがわかった。

これまで、植田らは 11 種類の騒音を用いた調整法による最適聴取レベルの実験において、騒音 10 dB の増加に伴い、最適聴取レベルは約 4 dB 上昇するという実験結果を示している [1]。今回得られた結果は、この結果と同様の傾向である。

3.3. 了解度、耳障り感、適切性の関係

Fig. 7 (a)~(d)は、騒音 B の各騒音レベルでの了解度、耳障り感、適切性の評価結果を示したものである。各図に共通する傾向として、以下の点があげられる。

- 1) 了解度の評価値は放送音量の上昇とともに上昇して、ある音量以上では全員の評価が最大値「5.聴き取れる」となる。
- 2) 耳障り感も放送音量の上昇とともに上昇する。しかし、了解度が最大値に達するまでは、あまり大きな上昇は見られない。

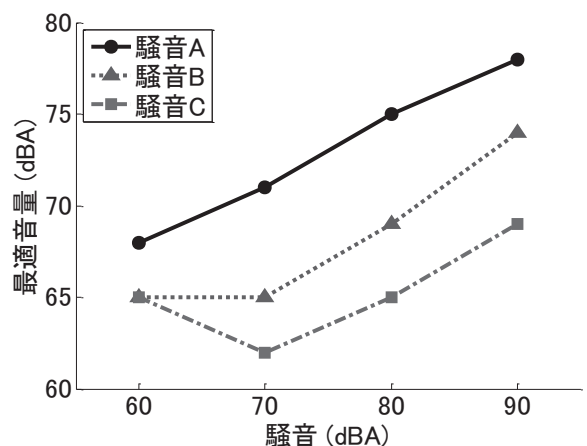


Fig. 6. 騒音レベルと最適音量の関係

- 3) 適切性は了解度の上昇とともに上昇し、了解度が最大値に達した放送音量付近で適切性が最大値をとる。
- 4) 適切性はピーク値を取った後、更なる音量上昇に伴う、耳障り感の上昇につれて評価値が低下する。

以上の傾向は、他の騒音 A,C の場合も同様であった。

前節(3.2 節)の検討結果より、騒音レベルが 10 dB 上昇すると最適放送音量が約 4 dB 上昇するという結果

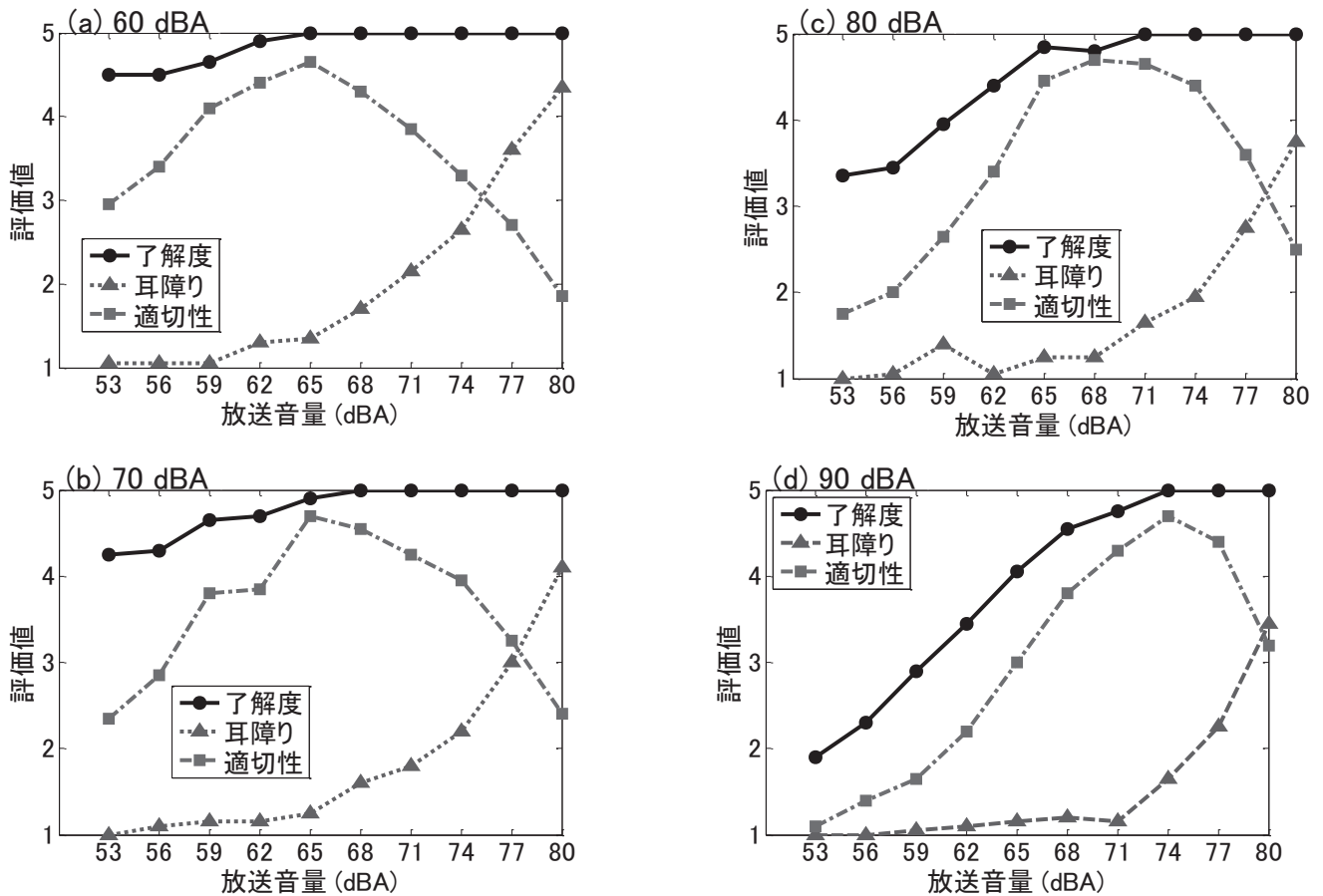


Fig. 7. 理解度，耳障り感と適切性評価結果
(騒音 B, 騒音レベル(a)60 (b)70 (c)80 (d)90 dBA)

が得られた。一方, Fig. 7(a)~(d)において, 最適音量(適切性の最大値)は, 理解度が最初に最大値をとる音圧とほぼ一致している。従って, 前節の最適音量の結果は, 騒音レベルが 10 dB 上昇すると, 理解度が最初に最大値をとる音圧が, 約 4 dB 上昇するという理解度評価値の特性に起因するものと考えられる。

次に, この騒音レベルと理解度の最大値との関係に対する仮説を示す。Fig. 8 は騒音 A の場合の騒音レベルの違いによる理解度評価の違いを示す。どの騒音レベルにおいても, 放送音量が上昇するに伴って評価値は上昇する。しかし, その上昇の線の傾きは異なっている。その結果, 騒音レベルが 10 dB 上昇すると, 評価値 3.5 をとる放送音量は, 約 10 dB 上昇する。一方, 評価値 5 をとる放送音量は, 騒音レベルが 10 dB 上昇すると, 約 4 dB の上昇となる。

先に我々は最低可聴に必要な音量は騒音レベル(70 dBA 以上の時)に比例することを示したが[5], 仮に評価値 3.5 が「努力すれば」聴き取れる「最低可聴音量」を表すならば, この結果と一致する。一方, 評価値 5 が「楽に」聴き取れる放送音量を意味し, この音量を被験者が適切と判断したと仮定すると, 理解度の最大

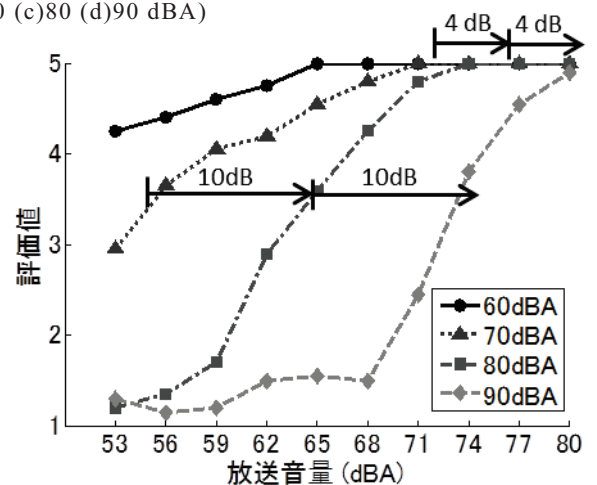


Fig. 8. 騒音レベルの違いによる理解度評価の違い
(騒音 A 設定時)

値が騒音レベルに比例しない今回の結果を説明する手がかりとなるものと考えられる。

3.4. 騒音による耳障り感への影響

理解度は適切性に強い影響を与えていることがわかったが, 耳障り感も適切性に影響を与えている。Fig. 9 は, 騒音 3 種類の 60 dBA の時の耳障り感と適切性について示したものである。図より, 騒音が 60 dBA と

小さい場合、耳障り感は、騒音の種類によらず、放送音量のみに依存していることがわかる。従って、適切性の評価値も騒音の種類によらず、68 dBA 以上で急激に低下している。一方、騒音が大きい 90 dBA の場合の耳障り感の結果を Fig. 10 に示す。図より、騒音 C に比べて騒音 A は耳障り感が低くなっている。この理由として、騒音 A は Fig. 3 に示すように高周波成分が強いので、音声の耳障りな高周波成分がマスクされたため耳障り感の評価が低くなったか、または、前項で述べたように、評価には了解度が優先され、了解度が十分となるまでは、耳障り感の評価が低くなることなどが考えられる。

4. まとめ

走行列車内における高騒音下において、適切な放送音量の制御指針を得るために、実録騒音を用いて主観評価実験を行った。本実験では音量の「適切性」の評価に加えて、文章の「了解性」ならびに「耳障り感」についても評価を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 列車内騒音を用いた主観評価実験により、適切音量を見る際には、放送音声の種類による大きな差はなかった。
- 2) 適切性の評価値は、音量の上昇に伴って上昇し、多少耳障りとなった場合でも、完全に放送内容が聴き取れるようになるまでは了解度の評価が優先されて上昇し、了解度が最初に最大値をとる音量が、最適音量(適切性が最大値をとる音量)とほぼ一致した。
- 3) 同じ騒音レベルであっても、騒音の種類によって最適音量は 10 dB 程度の違いがあった。このことより、最適な放送音量の制御を行うための音量指標として、A 特性サウンドレベル(dBA)は必ずしも適していない。
- 4) 騒音 10dB の上昇に伴い、最適音量は約 4dB 上昇する。ただし適切とされた音量は最大値を中心に 5~10 dB の幅を持つ。
- 5) 了解度が最初に最大値をとる音量は、騒音レベルが 10 dB 上昇すると約 4 dB 上昇し、この了解度の特性が、項 4)の最適音量の上昇特性の原因と考えられる。

今回は、積極的に放送を聞き取ることを前提としたために、了解度と適切性は強い関連性を示した。しかし、放送を聴きとる意思のない人にとっても同様な結果が得られるかどうか、今後検討していく必要がある。

文 献

[1]植田弘典, 荻原克幸, 野呂雄一, 久野和宏, "ニューラルネットワークを用いた最適聴取レベルの予測について-学習データの選定による効果-, " 信学技報, EA 2000-05, pp. 1-7 (2000).

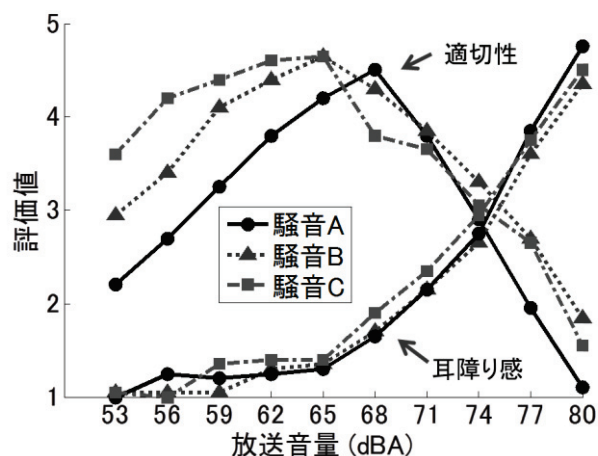


Fig. 9. 騒音の種類の違いによる耳障り感の違いと適切性(騒音 60 dBA 設定時)

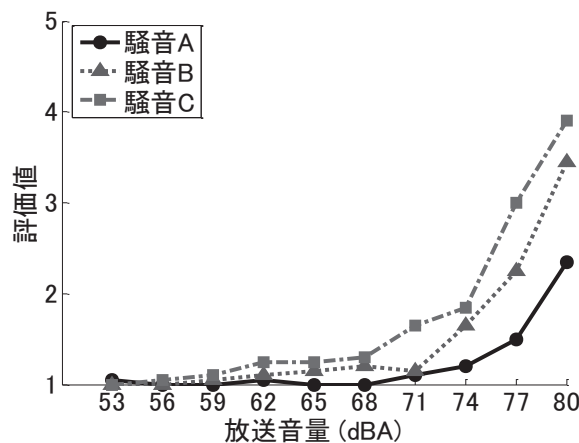


Fig. 10. 騒音の種類の違いによる耳障り感の違い (騒音 90 dBA 設定時)

[2]翁長博, 池田哲郎, "騒音・残響音上における最適聴取レベルに関する検討 -音声了解度および聴き取りにくさとの関係について-, " 日本建築学会環境系論文集, vol. 74, no. 635, pp. 9-15, (Jan. 2009).

[3]M.Kobayashi, M.Morimoto, H.Sato, H.Sato, "Optimum speech level to minimize listening difficulty in public spaces," J. Acoust. Soc. Am. vol. 121(1), pp. 251-256, (2007)

[4]山路貴司, 森本政之, 佐藤逸人, "騒音レベルの一時的上昇に追従した音声レベル調整に関する基礎的検討," 音講論(秋), 2-6-13, (2008)

[5]間嶋匠, 金田豊, 山本聡, 今村勇人, "高騒音下における車内放送音声の最低可聴音量の検討," 音講論(秋), 1-R-19, (2011).