

平成22年 6月 4日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760389
 研究課題名 (和文) ユニバーサルデザインに配慮した公共空間における最適拡声レベルの予測手法
 研究課題名 (英文) The method for estimating the optimum speech level in public spaces considering universal design
 研究代表者
 佐藤 逸人 (SATO HAYATO)
 神戸大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：30346233

研究成果の概要 (和文)：

公共空間における健常者及び高齢者の両者にとって聴き取りやすい音量(最適拡声レベル)を、残響音や騒音といった音場の物理量から推定する方法を、聴感実験により検討し、以下を明らかにした。(1) 残響音場における最適拡声レベルは、直接音のみの刺激に対する音圧レベルで換算したラウドネスで55～60dBAとなるように設定すればよい。(2) 騒音レベルの大きな変動がある音場における最適な拡声パラメータを提案した。

研究成果の概要 (英文)：

The methods for estimating the optimum speech level from physical acoustic parameters were investigated based on listening tests. The results showed that (1) the optimum speech level in reverberant sound fields should be set to make speech loudness expressed in the sound pressure level of direct speech from 55 to 60 dBA, (2) the optimum parameters for speech amplification in the sound fields where background noise level rapidly shifts were suggested.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：音・振動環境、拡声設備、残響音、騒音、ラウドネス

1. 研究開始当初の背景

公共空間では非常放送や案内放送といった拡声設備を用いて伝達される音声情報が存在し、加齢による聴力損失を持つ高齢者が

その情報を正確に聴取するためには、健常者と比較してより静かな環境とより大きな音量での拡声が必要となる。「静かさ」に関しては健常者、高齢者共に静かになればなるほど音声を聴き取りやすくなる。しかし、「音

量」に関しては、高齢者にとっては聴き取りやすい音量でも、健常者にとっては大きすぎる場合があることが容易に想定される。

2. 研究の目的

近年の公共空間デザインの主流となっているユニバーサルデザインを考えると、高齢者と健常者が同時に存在する公共空間では、両者にとって聴き取りやすい音量で拡声を行うことが理想である。本研究の最終的な目的は、公共空間に存在する残響音や騒音によって、健常者及び高齢者の両者にとって聴き取りやすい音量（最適拡声レベル）がどのように変わるかを明らかにし、音場の物理量から最適拡声レベルを推定する方法を確立することである。ただし、本研究期間では健常者を対象とした検討に留まった。

3. 研究の方法

無響室において、公共空間に存在する残響音や騒音をシミュレートした音声刺激を、様々な音圧レベルで提示し、その聴感印象を被験者に回答させることにより、聴き取りやすい拡声レベルを求める。そして、シミュレートした音場の物理量と最適拡声レベルを比較し、それらの関係を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 残響音が最適拡声レベルに及ぼす影響

予測手法を検討するにあたり、残響音場における最適拡声レベルがどのような心理的メカニズムで決定されるかを検討した。具体的には、最適拡声レベルに影響する心理的な感覚として、ラウドネスに着目した。複数の残響音場において、音声の聴取レベルを最も聴き取りにくいレベルに調整する聴感実験と、そのレベルにおける音声のラウドネスを音場間で比較する聴感実験の2つを、正常な聴力を持つ20代の被験者を対象に行った。その結果、以下を明らかにした。

- ① 図1に音場の物理量と最適拡声レベルの関係を示す。横軸のSpeech transmission index (STI) [1]は残響音が音声聴取を妨害する程度を示す物理指標であり、数値が小さいほど残響音エネルギーが大きいことを示す。STIが1の音場は、残響音をまったく付加していない音場である。白丸が各音場における最適拡声レベルの被験者平均値（9名）を示し、エラーバーは被験者間の標準偏差を示す。最適拡声レベルは、残響音の物理特性が変わっても、大きく変化せず、60から65dBA程度である。ただし、音場の残響音エネルギーが増加すると、最適拡声レベルもゆるやかに

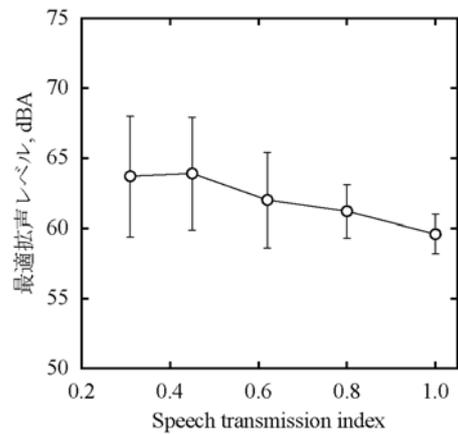


図1 音場の物理量と最適拡声レベル

上昇する傾向がみられる。また、残響音エネルギーが増加するほど、被験者間の標準偏差が大きくなる。

- ② 図2に音場の物理量と最適ラウドネスの関係を示す。縦軸は聴感実験を別途行い、各音場の最適拡声レベルの刺激に対するラウドネスを、直接音のみの刺激の音圧レベルに換算したものである。黒丸が変換した結果であり、白丸で示したSTIが1の音場は変換の必要が無いいため、図1と同じデータになる。この図1に示したように、残響音エネルギーが増加すると、最適拡声レベルは増加する。しかし、図2より、ラウドネスで見ると逆に残響音エネルギーが大きいほど、小さいラウドネスが最適と判断されることがわかる。つまり、残響音が存在する音場では、その音圧レベルから考えるよりも、実際に感じるラウドネスは小さく、残響音が無い場合よりも小さいラウドネスが好まれる。ただし、STIが0.6以下の音場では、最適ラウドネスはほぼ一定である。これは、ラウドネスがある一定以下になってしまうと、「小さすぎて聴き取りにくい」ことが関連していると考えられる。

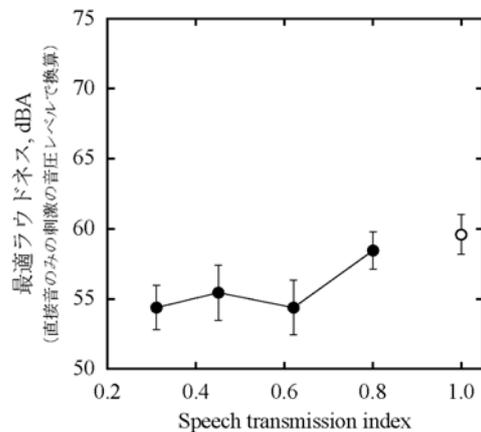


図2 音場の物理量と最適ラウドネス

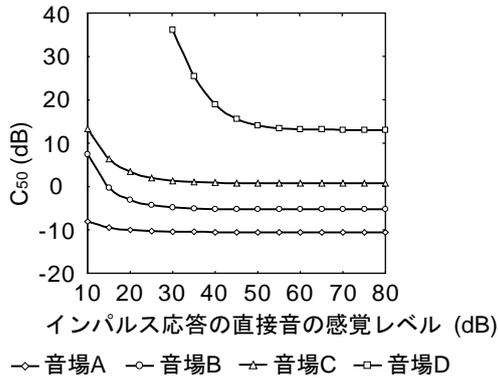


図3 感覚レベルとC50の関係

- ③ 残響音が存在する場合に、小さなラウドネスが好まれる理由として、拡声レベルを下げた方が、残響音によるマスキング量が小さくなり、より明瞭に聞こえるということが考えられる。そこで、最小可聴値以下の反射音はマスキングに寄与しないと仮定し、音場のインパルス応答から、音声聴取に有効な音エネルギーと有害なエネルギーのレベル差であるC50[2]を、感覚レベル（直接音の音圧レベルから最小可聴値を引いた値）をパラメータとして算出した。図3に結果を示す。C50が大きいほど、マスキング量が小さくなり、音声は明瞭に聞こえることを示す。どの音場においても、感覚レベルが40dB程度の明らかに最適拡声レベルの範囲から外れる低い値にならないと、C50の増加がみられないことから、残響音が存在する音場における最適ラウドネスの判断には、マスキング量の低減は影響していないと考えられる。小さなラウドネスが好まれる理由としてもう一つ考えられるのは、残響音のそのものに対するうるさを低減させることである。
- ④ 以上より、残響音場における最適拡声レベルが決定されるメカニズムには、拡声レベルと残響音のエネルギー量が比例すること、音声が聴き取りにくいと感じないラウドネスに下限値があることの2点が大きな影響を与えると結論付けられる。

(2) 残響音の空間特性と最適拡声レベルに及ぼす影響

残響音場における音声の最適ラウドネスには、残響音の時間特性、周波数特性だけでなく、空間特性の影響を受けることが考えられる。空間特性と対応する物理量である両耳間相関度 (ICC) が、ラウドネスに影響を及ぼすことは、既往の研究[3]より明らかであり、音声の最適ラウドネスにも影響を及ぼす

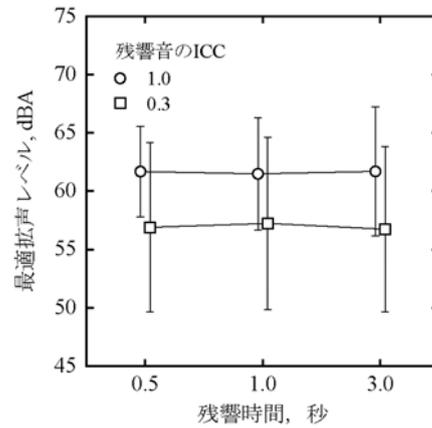


図4 残響時間及び残響音のICCと最適拡声レベルの関係

可能性が高い。そこで、(1)と同様の実験を残響音のICCをパラメータとして、正常な聴力を持つ20代の被験者を対象に行い、残響音の両耳間相関度が、音声の最適ラウドネスに及ぼす影響について検討した。

- ① 図4に残響時間及び残響音のICCと最適拡声レベルの関係を示す。ICCが1の場合には、被験者の正面に位置したスピーカのみから刺激を提示した。ICCが0.3の場合には、複数のスピーカから刺激を提示し、ICCが1の場合よりも残響音が空間的にひろがるようにした。図より、ICCによらず残響時間が変わっても最適拡声レベルは変わらず、ICCが低下すると最適拡声レベルは5dB程度低下した。ただし、被験者間の標準偏差が(1)の実験 (ICCは1.0で一定)と比較して大きく、特にICCが0.3の場合の標準偏差が大きい。つまり、被験者の個人差が大きいと考えられる。従って、図4に示した平均値から、残響時間及びICCが最適拡声レベルに及ぼす影響を論じることはできない。個人差については、②の最適ラウドネスに関する検討で詳しく述べる。
- ② (1)の実験と同様に、別途実験を行って、各被験者の最適拡声レベルを最適ラウドネスに換算した。図4に示すように被験者の個人差が大きかったため、多次元尺度構成法を用いて被験者の分類を試みた。図5に得られた布置を示す。被験者が3グループに分類されることがわかる。図6に各グループの最適ラウドネスの平均値を示す。グループA (S1)は、1名のみであるが、残響時間とICCによらず最適ラウドネスは一定である。グループB (S2~S5)は、残響時間の影響をあまり受けないが、ICCが低い方が、最適ラウドネスが小さい。グループC (S6~S8)は、残響時間とICCの両者の影響を受けて最適ラウドネ

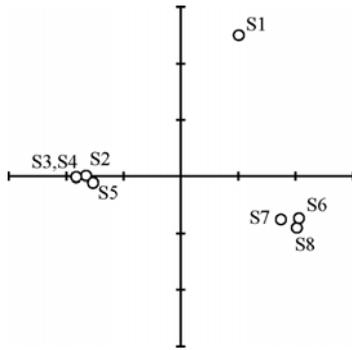


図5 多次元尺度構成法による被験者の布置

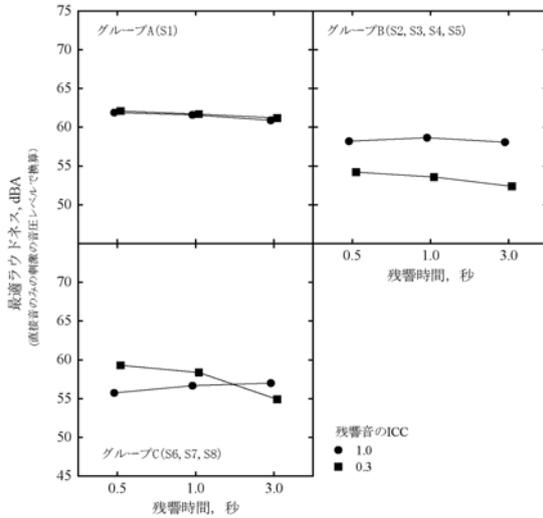


図6 各グループの最適ラウドネス

スに変化する。

- ③ 以上の結果より、残響時間と残響音の ICC の両者は、最適ラウドネスに影響を及ぼすと考えられるが、どちらの影響が大きいかは被験者によって異なる。従って、最適ラウドネスを一意に定めることは難しいが、(1)の実験と合わせて考えると、残響音場における最適ラウドネスはおおよそ直接音のみの音声刺激の音圧レベルに換算して 55dBa から 60dBa の範囲であるといえる。
- ④ 総合的な結論として、残響音場における最適拡声レベルは、残響音の物理特性によりやや異なるが、最適ラウドネスが 55dBa から 60dBa の範囲になるように決めればよい。ただし、図1と図2を比較するとわかるように、特に残響音エネルギーが大きい音場では、拡声レベルとラウドネスに最大で10dB程度の差が生じることと留意する必要がある。
- (3) 不快感を基準とした騒音場における拡声レベルの調整方法

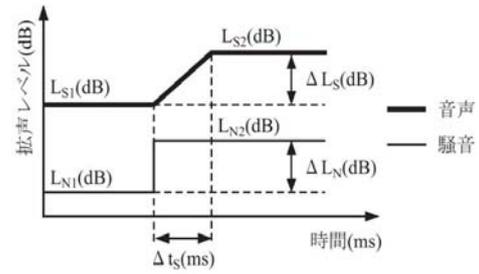


図7 想定する条件

一般に高い音声伝達性能を実現するには、一定の SN 比を確保する必要がある。しかし、これは暗騒音レベルが変動する場合にも適用できるとは限らない。電車がトンネル内に入るときの車内のように、騒音変動する音場で案内放送を行う場合、放送の途中で SN 比が小さくなり音声伝達性能の劣化が生じる。このとき、騒音レベルの上昇に追従して拡声レベルを調整することで SN 比を確保し、音声伝達性能の劣化を軽減しようとするシステムが一部の鉄道路線で実用化されている。しかし、拡声レベルの急激な時間変化は、驚きやうるささといった不快感をもたらす可能性がある。上記の拡声レベルの調整にあたり、事前に知ることができるのは変化前後の騒音レベルであり、レベル調整の際のパラメータは調整前の拡声レベル、立ち上がり時間、増幅量である。

本研究では、騒音レベルの変化前の拡声レベルは、SN 比が+15dB になるよう最適化されているものとし、その条件下における不快感に着目した拡声レベル調整法の最適化について検討した。

- ① 図7に拡声レベル調整の模式図を示す。最適な ΔL_s と Δt_s を様々な騒音の条件下で求めた。図8に実験結果の例を示す。実験結果から、変化前の騒音レベルが 50, 60dB のそれぞれにおいて最適な拡声レベルの調整法を検討した。なお、実験条件として、増幅量は 5, 10, 15, 20dB, 立ち上がり時間は 100, 200, 400, 800ms で行い、これらの条件の範囲内で、最適なパラメータを明らかにした。その結果、1) 変化前の騒音レベルが 50 dB の場合、騒音レベルの変化量に関わらず、増幅量 5 dB, 立ち上がり時間 100 ms が最適である。2) 変化前の騒音レベルが 60 dB の場合、騒音レベルの変化量に関わらず、増幅量 5 dB 最適とし、立ち上がり時間は 800 ms が最適である。

文献

[1] T. Houtgast and H. J. M. Steeneken, "The modulation transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility," *Acustica* 28,

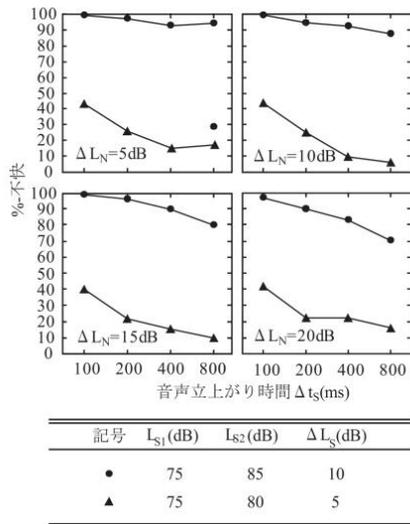


図 8 最適拡声パラメータの実験例

66-73 (1973).

[2] J. S. Bradley, "Speech intelligibility studies in classrooms," J. Acoust. Soc. Am. 80, 846-854 (1986).

[3] B. A. Edmonds and J. F. Culling, "Interaural correlation and the binaural summation of loudness," J. Acoust. Soc. Am. 125, 601-608 (2009).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 沖野翔太, 佐藤逸人, 森本政之, 残響音の両耳間相関度が音声の最適ラウドネスに及ぼす影響, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 2010年6月19日, 大阪工業技術専門学校3号館
- ② 大西豊, 山路貴司, 森本政之, 佐藤逸人, 暗騒音レベルの変動を考慮した拡声レベルの調整法, 日本音響学会春季研究発表会, 2010年3月9日, 電気通信大学
- ③ 根木健太, 佐藤逸人, 森本政之, 最適音声レベルにおけるラウドネスと残響の関係, 日本音響学会秋季研究発表会, 2009年9月16日, 日本大学工学部(郡山市)
- ④ 佐藤逸人, ユニバーサルデザインを考慮した音声伝送性能に関する研究, 日本建築学会近畿支部音環境部会, 2009年7月10日, キャンパスポート大阪
- ⑤ 根木健太, 佐藤逸人, 森本政之, 残響音場における最適音声レベルとラウドネスの関係, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 2009年6月21日, 大阪工業技術専門学校6号館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 逸人 (SATO HAYATO)

神戸大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 30346233