



加齢による聴覚特性の変化を考慮した音声案内

佐藤, 洋
佐藤, 逸人

(Citation)

日本音響学会誌, 73(5):319-323

(Issue Date)

2017

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

© 2017 一般社団法人 日本音響学会
CC-BY-ND

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90004936>



小特集—高齢者や視覚障害者に配慮した音環境—

加齢による聴覚特性の変化を考慮した音声案内*

佐藤 洋 (産業技術総合研究所)**・佐藤 逸人 (神戸大学大学院)***

43.55.+p; 43.71.+m

1. はじめに

都市・建築空間を伝送路とする音声情報伝達は、一定の伝送品質が確保されており、かつ聴力健常な聴取者が音声に注意しているという前提において有効に働く。筆者らは「都市・建築空間における音声伝送性能評価規準・同解説—日本建築学会環境基準 AIJES-S0002-2011」[1]において、様々な聴取環境（空間の伝送品質、音声特性、聴取者のおかれている状況や態度など）を想定して空間の音声伝送品質を設計・評価する方法についてまとめた。この環境規準は前述した「有効に働く」前提において記述したものである。また、聴取者の聴力損失をパラメータとするこの分野の既往の研究は多いが、基本的には「有効に働く」前提を基礎としたパラダイムを用いている。

一方、言語情報の獲得をターゲットにしているアプリケーション以外では、この前提が成立することは稀である（講義もそのようなアプリケーションではあるがこの前提が成立しているかどうか怪しい場合もある）。また、状況によっては、例えば健常者が聴き取りにくいと感じない条件を達成するのが非現実的な場合もある。

以上のように考えると、現在は、筆者も含めてこれまで取り扱ってきた堅実なこの前提がどの程度有効であるのかを検証すべきときかもしれない。本稿ではこれまでのパラダイムで研究されてきた音声伝達に関する振り返りを特に高齢者対応をキーワードに展開した後、音声情報伝達に限らず、空間内の音というメディアの公共性を持った使われ方から見た今後のパラダイムについて言及してみたい。

2. 都市・建築空間内の音声伝達

2.1 概要

本章ではこれまでの音声の聴き取り試験と音環境の物理的な評価とを結びつけるパラダイムにより整理されてきた音声伝達研究の整理と、音声伝送性能の評価について述べる。

2.2 音声情報が聴取者に届くまで

都市・建築空間における音声伝達のプロセス [1] は、

発信系 → 伝送系 → 受信系

発信者（話者又は録音媒体）から発信された音声は、音響信号の伝送路つまり空間及び電気音響設備を介して受信者である聴取者に伝わる、というプロセスとなる。音声による情報伝達のし易さは空間や設備といった伝送路の因子に大きく影響を受ける。従って、音声による情報伝達が必要な空間では、情報が聴取者に適切に伝達されるように設計する必要がある。図-1 に空間内の音声伝達と影響因子について図示する。

2.3 音声伝送性能の評価

空間の音声伝達性能の評価は音節、単語又は文章を正しくはっきりした発話で発声したものを録音したものを実験室あるいは評価対象の空間において聴取者に提示し、どの程度正確に聞き取れたかを評価する単語了解度などの正答率、あるいは「聴き取りにくさ」などの聴感印象を数値化して評価するなどの方法が取られる [1]。これらの方法では聴取者は、提示される音声に集中している状態で回答する。

一方で、コストがかかる被験者を用いた評価は、特に現場では実施することが困難なため、物理的計測により評価することが多い。騒音と残響の影響を同時に評価できるとされている STI (Speech Transmission Index) [2] や SII (Speech Intelli-

* Spoken announcement considering degradation of hearing with aging.

** Hiroshi Sato (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, 305-8566)
e-mail: sato.hiro@aist.go.jp

*** Hayato Sato (Kobe University, Kobe, 657-8501)

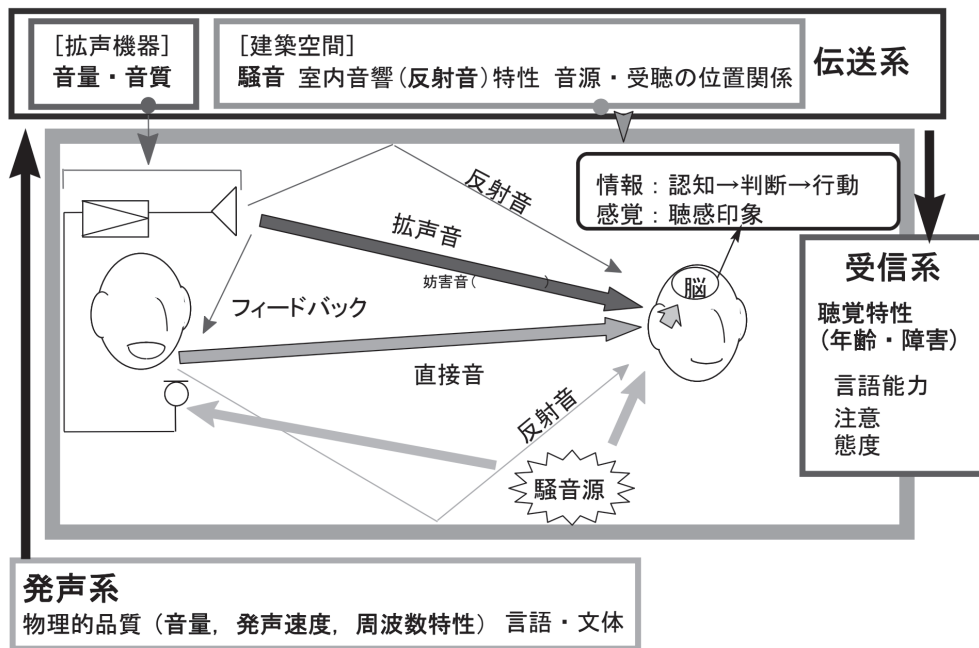


図-1 空間内の音声伝達と影響因子

gibility Index) [3], 響きの少ない定常騒音下の空間においては単純な SN 比が用いられる。

正答率などの人が聴取したときのデータと物理的計測により得られたデータを対応させて, 物理的評価指標の開発を実施する, というのがこれまで行われてきた研究パラダイムである。

3. 加齢による聴力損失を持つ高齢者による音声の聴き取り

高齢者の聴力は若齢者と比較して衰えているというのが一般的に言われていることである。最小可聴閾値の上昇, 周波数選択性能力の低下, 時間分解能の低下, リクルートメント現象の発症が加齢に伴って生じる典型的な衰えである。

最小可聴閾値の上昇については, 例えば, ISO 7029:2017 [4] では 18 歳代の値を規準とした年齢ごとの様々な純音に対する最小可聴閾値の上昇及びその統計的分布が標準化されている。平均的には 1 kHz を境に高音になればなるほど加齢による聴力低下 (最小可聴閾値の上昇) が顕著となり, 80 歳代では 1 kHz の純音に対しては 20 dB 程度の聴力低下が見られるが, 8 kHz では男性が 75 dB, 女性が 60 dB の低下を示す。

周波数選択性能力の低下については, 言語の音響的特徴が弁別しにくくなることが分かっている。例えば, Yasu らは 2 kHz 周辺の聴覚フィルタの帯域幅について高齢者と若齢者を比較し, 高齢者の

ほうが若齢者と比較して帯域幅が広くなり, 第 2 フォルマント周波数 (F_2) の遷移を弁別しにくくなっていることを示した [5]。なお, 聴覚フィルタの帯域幅を計測する計測器は市販されている [6]。

時間分解能の低下が生じると, 継続した音声の時間的特徴 (抑揚) の検出が困難になる。高齢者が聞いている音声は, 若齢者が響いている部屋で音声を聞くような音声であるといえれば分かり易いであろうか。これまで, 聴覚の時間分解能を計測する機器は提案されていなかったが, 岡本らのグループが TMTF (Temporal Modulation Transfer Function) と呼ばれる変調度の深さと変調周波数を変化させて最小可聴閾値を計測することにより計測及び補聴処理への応用に可能性を見出した [7]。

リクルートメント現象は, 小さな音は聞こえにくく, ある音圧レベルから大きな音は若齢者と同様の音量で聞こえる現象である。急に音が大きくなったり聞こえなくなったりと, とても聴き取りにくい状況が起きる。聴取者が高齢者だからといって音を大きくすればいいというものではない。以前, ラウドネス補償型補聴器として開発されたこともある [8]。

以上の症状などが複合し, 音声の聴き取りでは子音の聴き取りが困難あるいは聴き取り間違いが増加する傾向があり, また, 響きの中では母音の間違いが増加することも示されている [9]。最近の脳科学研究においても加齢による聴力の変化につい

て上記の現象を総合的に説明する研究がある。特に、話声の強弱の変化と脳活動に関連性が見られるとした上で、高齢者は話声が複数あるときターゲットとなる話声が区別しにくくなっていることを示している [10]。

ここまで紹介したような聴覚から脳活動に関する様々な研究が深化していくとしても、日常生活で体験する音声情報の獲得については、適切な音量（耳元で 60–65 dB）により、できるだけ騒音を低減した状況で（SN 比 10 dB 以上）、響きをできるだけ押さえ（STI: Speech Transmission Index > 0.65）、適切な話速で音声を聴取者に提示することが実現できれば、上記の症状の影響を最小限に食い止めることはできそうだ。このような音声伝達環境を実現するために、音声アナウンスの音量設定に関する国際標準 ISO 24504 は作成されている [11]。あとはアプリケーションごとにどんな工夫ができるのかを先端的な研究をにらみながら見出していければ、より便利な音声情報の活用が期待できるのではないかな。

4. 高齢者に配慮したコミュニケーション

アメリカ合衆国において医療従事者向けの高齢者に対するコミュニケーションの方法に関する解説が出版されている [12]。高齢者配慮について音環境についても言及はしているが、語りかけ方、メッセージ構成の考え方など示唆に富んでいるので紹介したい。また、それぞれの解説には学術論文に寄るリファレンスが若干ではあるが付されているので参考にされたい。

本書が述べている対処項目は 29 ある。そのうち一般的事項が 2 項目、対話環境の向上が 6 項目（そのうち騒音制御が 1 項目）、医療従事者への助言が 15 項目、認知症の高齢者への対話が 5 項目である。

一般的事項としては、高齢者の特性は様々であるとはいえ、まずステレオタイプを考えてから適応的に対処すべきと述べている。我々の立場では、まず、音環境を 3 章の末尾で述べたレベルに近づくように整えていく、ということであろう。また、「年寄り扱い」するような語りかけ方は避けるべきとある。よく聞こえない、よく見えない、よく分からない、など「～できない」を前提とした “elders-peak” と呼ばれる過剰にゆっくり話す語りかけ方

で尊厳を損なうことが危惧されるようだ。ゆっくりとした語りかけ方の弊害は認知症が見られる高齢者に現れ、短期記憶に入る情報が遅くなると、次の処理が追いつかなくなり、情報が伝わりにくいとのことである。

騒音制御については、Competitive Speech がメッセージの理解を大きく妨げるため、遮音に留意することを勧めている。Alessandro らの研究結果 [10] と一致した見解である。その他、認知的な負荷低減を考慮すると、

- なるべく対面してメッセージを伝え、読唇等、他のメディアによる冗長な情報を与えることが効果的である。
- 1 センテンス 1 メッセージとし、連続するメッセージは互いに関連性を強くして理解し易くするようにする。
- 直接的に動作を説明するような具体性のあるメッセージとする。
- メッセージを伝えるときはポジティブな感情を込める。

などに考慮してメッセージを構築する有用性が述べられている。

加齢による身心の変化は聴覚器官のみならずメッセージの受け取り方にまで及ぶこと、そしてその変化には個人差が大きく多様化していることを念頭に置きながら、高齢社会の音環境をコミュニケーションという観点から整備していく必要があろう。

5. 音声案内のアプリケーション

5.1 移動空間における案内放送

健常者は日常的な移動空間では特別のことがない限り、あまり案内放送の内容に頼って行動することはないだろう。一方、あまり馴染みのない場所においては、どこに行くと何があるのかなど、その場所の特性を把握するために掲示板や案内放送など空間内の様々なメディアに注意を向けることが多いだろう。また、電車の中での停車駅の確認の際には案内放送は有用だろうし、居眠り時の目覚ましにもなるであろう。ここでのユーザーニーズは「馴染みのない場所の案内」、「注意のトリガ」、「行動のトリガ」であり、内容が必要なのは「馴染みのない場所の案内」である。これらの状況は非日常的な行動範囲にいるか、日常的な行動範囲の中でも特別なイベントが起こったときに該当する。更に、これ

らの情報取得は時々刻々変化する環境の中で、歩行など何等かの行動をしているときに生じるため、これまでのスタティックな計測評価からダイナミックな状態での聴き取りの程度を推定する何等かの方法があるとより実際的になるのではないか。

このようなダイナミックな状態において高齢者の情報取得行為と若齢者のそれが、どんな要因でどの程度異なるのかについてはあまり研究されていない。また、極めて状況依存性があるが、音声の内容によらず、注意あるいは行動のトリガとしてのみ作用する音声信号という観点からの音声案内の重要性についても明確な評価はないのではないか。従前から、騒音の振幅変動についてのみ研究されている状況である [13]。

5.2 生活製品や設備機器からの音声案内

機器に組み込まれたスピーカから発せられる音声案内、ブザーやチャイム、機器の動作音などの聴覚情報は、それら機器とユーザが「対話」するインタフェースとして重要な機能を果たしている場合がある。

音を記号として用いて家電製品の動作開始終了などの状態を知らせるための標準として JIS S0013: 2011 [14], JIS S0014: 2013 [15] がある。これらを用いてある条件下で高齢者が聴き取ることができる報知音の設計ができる。また、音の記号としての違いを区別できるように、機器の状態に応じて数種の報知音の時間パターンが準備されている。

どのような音にしる、機器から平常時と違った音や音声が発せられ、それに気が付けばユーザは何等かの行動を取ろうとするであろう。そのときの行動が、先の標準が想定しているユーザの音の使い方、あるいは発せられた音声メッセージの内容と一致しているかどうか、取ろうとする行動のバリエーションがあるかどうか、その行動について高齢者と若齢者でどの程度異なるのか気になるところである。

5.3 安全確保のための案内放送

前節までは平常な日常生活について議論したが、非常時・災害時について状況が異なるのかどうかについて考えてみたい。

まず、警報等のメッセージで状況認識をする。そして、そのときのリスクを評価して行動する、というプロセスが考えられる。状況認識、リスク判断及び行動のバリエーションは、状況認識のための資

源、知識そして経験に左右される。こう考えると、非常時と日常時の違いは、その状況を経験する頻度と行動のために要求される資源の違いとなる。

経験する頻度は訓練により補うこととし、行動のための資源不足は日頃より準備することにより、非常時をより日常に近づけることができる。

非常時に起こる心理的な反応として「正常性バイアス」とよばれる、異常を正常の範囲として捉えてしまう錯誤がある [16]。この反応は避難警報に反応しない人々が存在することの説明に用いられるが、リスク評価を正確に行えない状態と捉えることができる。このような錯誤的なバイアスによってではなく、訓練や準備により非常時を日常の延長とすることで、異常の程度と起こり得るリスクを冷静に評価することが重要となる。

このような観点から音声案内はどうすべきかを考えると、状況の冷静な判断を促し、様々な状況に対応できる具体的な取るべき行動を示せるメッセージを提示することが重要である。そのためには3章で述べた音環境整備の基本を抑えることと、練られたメッセージの発信方法を準備することが重要である。練られたメッセージの作成方法とその有効性評価については、メッセージとメッセージを得た人の判断や行動との関係性を研究で解きながら構築していく必要がある。

6. 学際的な音響技術の出番

6.1 音声案内を有効に活用するために

これまで述べてきたことは多岐にわたるように見えるが、

- 発話系: 理解され、行動につながる具体的なメッセージを 高品質な音 で提供する、有効な注意促進トリガを提供する
- 伝送系: 妨害要因をできるだけ排除する、代替メディアを準備しておく
- 受信系: 注意のための脳のリソースを確保する、感覚器で情報が取得できるような準備をする、情報に対するリテラシーを向上する

を実現するための技術、ソフトウェア、教育等の社会的背景を準備が重要な課題である。下線部は音響技術に関連する項目である。

このほか、音声案内が騒音になる場合も考えられる。メッセージの伝達の重要性とのトレードオフになるが、スピーチプライバシーへの配慮等、音

声を伝えない工夫をすべき場合もある。これらのことを加齢による様々な心身の変化を考慮しながら実施していくことが重要である。

6.2 音響技術の活躍分野

以下に 6.1 節の下線部に対応した技術について学術分野との関連も合わせて整理する。

- 建築音響では吸音・遮音で残響・ノイズを減らす
- 電気音響では歪のない聴き取り易い音声を周辺環境に合わせて最適な音量に調整する。
- 音声信号処理ではゆっくり、はっきりとした音声に変換（話速変換 [17]、フォルマント強調 [18]）する。
- 脳科学・言語学では劣化した短期記憶能力でも正確に情報が伝わる音声情報デザインを考える [19]。
- マルチモーダル研究分野としては視覚的なアシスト（音源を光らせて注意を向けさせる、話手の顔を映す等）の代替、冗長手段を開発する以上のように、音声案内を真に機能させるためには様々な研究分野の力が必要である。

7. おわりに

6 章に述べたことは新しいことではない。既に研究が実施されていることがほとんどであり、実験室実験により一つ一つの要因を確認することも従来の研究パラダイムにより可能である。

一方、情報を獲得した人がどのような行動を取るのかについて現場において検証されていない。これまで統制の取れていない状況下のデータはノイズが多いと考えられてきたし、音響に関わるエンジニアや研究者はことさらきれいな計測結果を望む。現在議論されている IoT (Internet of Things) 技術により、人の行動や環境のモニタリング、そしてデータの集積が比較的容易になってきた。人工知能を活用してノイズと考えられる現象を排除できる可能性もあるだろう。音・音声メッセージとそれを獲得した多様な人々の反応について調査し、音環境を半ば自動的に最適化するような技術は生まれて来るかもしれない。

文 献

- [1] 日本建築学会編, “都市・建築空間における音声伝送性能評価規準・同解説—日本建築学会環境基準 AIJES-S0002-2011” (2011).
- [2] IEC 60268-16 Ed.4.0: “Sound System Equipment—Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index,” International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland (2011).
- [3] ANSI/ASA S3.5-1997 (R2012), “Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index,” American National Standard (2012).
- [4] ISO 7029:2017, “Acoustics — Statistical distribution of hearing thresholds related to age and gender,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2017).
- [5] K. Yasu, T. Arai, T. Endoh, K. Kobayashi and M. Shindo, “Relationship between broadening of auditory filter bandwidth near 2 kHz and speech discrimination/identification of monosyllables /de/ and /ge/ by young and elderly Japanese listeners,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **36**, 35–38 (2015).
- [6] 中市健志, 綿貫敬介, 坂本真一, “簡易測定法の聴覚フィルタ推定精度,” 音響学会聴覚研資, H-2002-05 (2002).
- [7] 岡本康秀, 入野俊夫, 神田 晶, 貫野彩子, “感音難聴における時間分解能の測定機器の開発と, 時間分解能エンハンス補聴器の開発,” 基盤研究 (C) 25462652 報告書, 日本学術振興会 (2016).
- [8] 浅野 太, 鈴木陽一, 曾根敏夫, 林 哲也, 佐竹充章, 大山健二, 小林俊光, 高坂知節, “ラウドネス補償特性を有するデジタル補聴器の一構成法,” 音響学会誌, **47**, 373–379 (1991).
- [9] 佐藤 洋, 長友宗重, 吉野 博, “無意味三連音節明瞭度試験法による残響及び聴力損失が音声情報伝達に及ぼす影響の評価について,” 建築学会計画系論文集, (495), 9–13 (1997).
- [10] A. Presacco, J. Z. Simon and S. Anderson, “Effect of informational content of noise on speech representation in the aging midbrain and cortex,” *J. Neurophysiol.*, **116**, 2356–2367 (2016).
- [11] ISO 24504:2014, “Ergonomics — Accessible design — Sound pressure levels of spoken announcements for products and public address systems,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2014).
- [12] J. Harwood, K. Leibowitz, M.-C. Lin, D. G. Morrow, N. L. Rucker and M. Y. Savundranayagam, “Communicating with older adults — An evidence-based review of what really works—,” *The Gerontological Society of America* (2012).
- [13] J. M. Festen and R. Plomp, “Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **88**, 1725–1736 (1990).
- [14] JIS S0013 : 2011, “高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の報知音,” 日本規格協会, 東京 (2011).
- [15] JIS S0014 : 2013, “高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活用製品の報知音—妨害音及び聴覚の加齢変化を考慮した音圧レベル,” 日本規格協会, 東京 (2013).
- [16] 例えば, 広瀬弘忠, “人はなぜ危険に近づくのか,” 日本損害保険協会, 予防時報, No. 221, pp. 8–13 (2005).
- [17] 都木 徹, 今井 篤, 清山信正, 世木寛之, 田高礼子, 田澤直幸, 岩鼻幸男, “話速変換技術・音声変換技術の放送および関連ビジネスへの応用,” 情報処理学会研究報告, 2012-SLP-93(6), pp. 1–6 (2012).
- [18] 戸次幸徳, 小平悠馬, 坂田 聡, 上田裕市, “ホルマント強調による音声補聴処理システムの開発,” 平成 24 年度電気関係学会九州支部連合大会 (第 65 回連合大会) 講演集, 06-1A-07 (2012).
- [19] 弘前大学人文学部社会言語学研究室, “減災のためのやさしい日本語,” Web ページ <http://human.cc.hirosaki-u.ac.jp/kokugo/EJ1a.htm> (参照 2017-03-01).